

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de metales pesados del canal de riego del Fundo Pacán, Región Huánuco – Perú 2023”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Ferrua Quispe, Veronica Karina

ASESOR: Morales Aquino, Milton Edwin

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (☒)
- Trabajo de Suficiencia Profesional (☐)
- Trabajo de Investigación (☐)
- Trabajo Académico (☐)

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Disciplina: Ingeniería Ambiental y Geología

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero(a) ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (☒)
- UDH (☐)
- Fondos Concursables (☐)

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 40521826

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44342697

Grado/Título: Maestro en Ingeniería, con mención en:

Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible

Código ORCID: 0000-0001-9174-466X

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Tarazona Mirabal, Herman Atilio	Magister en Salud Publica y Gestión Sanitaria Gestión y Planeamiento Educativo.	22411008	0000-0001-5319-4708
2	Vásquez Baca, Yasser	Título oficial de máster Universitario en Planificación territorial y gestión ambiental	42108318	0000-0002-7136-697X
3	Bonifacio Munguía, Jonathan Oscar	Maestro en Ingeniería, con Mención en: Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible	46378040	0000-0002-3013-8532

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 18:00 horas del día 18 del mes de diciembre del año 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

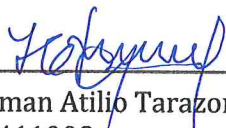
- Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Presidente)
- Mg. Yasser Vasquez Baca (Secretario)
- Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguía (Vocal)

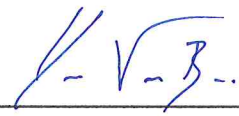
Nombrados mediante la **Resolución N° 2764-2025-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"EFICIENCIA DE BIOFLITROS CON BAGAZO DE CAÑA, CASCARILLA DE COCO Y ASERRÍN DE MADERA EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS DEL CANAL DE RIEGO DEL FUNDO PACÁN, REGIÓN HUÁNUCO - PERÚ 2023"**, presentado por el (la) Bach. **FERRUA QUISPE, VERONICA KARINA** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO Por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 14 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47)

Siendo las 19:10 horas del día 18 del mes de DICIEMBRE del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal
DNI: 22411008
ORCID: 0000-0001-5319-4708
Presidente


Mg. Yasser Vasquez Baca
DNI: 42108318
ORCID: 0000-0002-7136-697X
Secretario


Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguía
DNI: 46378040
ORCID: 0000-0002-3013-8532
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: VERÓNICA KARINA FERRUA QUISPE, de la investigación titulada "EFICIENCIA DE BIOFILTROS CON BAGAZO DE CAÑA, CASCARILLA DE COCO Y ASERRÍN DE MADERA EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS DEL CANAL DE RIEGO DEL FUNDO PACÁN, REGIÓN HUÁNUCO - PERÚ 2023", con asesor(a) MILTON EDWIN MORALES AQUINO, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1482-2022-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 19 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 21 de noviembre de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

10%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

3%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

3

Submitted to Universidad de Huanuco

Trabajo del estudiante

1%

4

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.upsc.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

1%

7

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

<1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

El presente trabajo, está dedicado a mis padres queridos, quienes fueron un ejemplo constante de disciplina, esfuerzo y compromiso con la educación. Su perseverancia y sacrificio para garantizarme una formación integral constituyen un legado invaluable. La presente tesis representa no solo el resultado de un proceso académico, sino también el reflejo de los valores que ellos me han inculcado: el trabajo como motor de desarrollo y la educación como pilar fundamental de la vida.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Dios, por darme la fuerza y valor para concretar esa etapa valiosa de mi vida.

Agradecer, además el apoyo proporcionado por parte de los amigos, colegas y docentes de esta prestigiosa Universidad.

Además, agradecer Al Mg. Milton, con su labor de asesor y el jurado por su apoyo en la elaboración de esta tesis, sin su colaboración este trabajo no sería posible.

Finalmente, gracias a todos que de alguna u otra manera me brindaron su ayuda para en la realización y culminación de la tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XII
CAPÍTULO I.....	14
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	17
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	17
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.4.1. IMPACTO PRÁCTICO.....	18
1.4.2. IMPACTO TEÓRICO.....	18
1.4.3. IMPACTO SOCIAL	18
1.4.4. IMPACTO AMBIENTAL.....	19
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.1.1. ANTECEDENTE A NIVEL INTERNACIONAL	20
2.1.2. ANTECEDENTE A NIVEL NACIONAL.....	22
2.1.3. ANTECEDENTE A NIVEL LOCAL	24

2.2.	BASES TEÓRICAS	26
2.2.1.	EL AGUA DE LOS RÍOS Y QUEBRADAS	26
2.2.2.	CARACTERÍSTICAS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LAS AGUAS DEL RIO HUALLAGA	29
2.2.3.	PARÁMETROS FÍSICO - QUÍMICO DEL AGUA DE RIO	30
2.2.4.	METALES PESADOS	32
2.2.5.	FILTRO.....	35
2.2.6.	BIOFILTRO	36
2.2.7.	FILTROS DE RESIDUOS ORGÁNICOS.....	39
2.2.8.	MARCO NORMATIVO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL PERÚ	41
2.2.9.	MARCO INSTITUCIONAL.....	42
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	43
2.4.	HIPÓTESIS	46
2.5.	VARIABLES.....	47
2.5.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	47
2.5.2.	VARIABLE DEPENDIENTE	47
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	48
CAPÍTULO III.....		49
MARCO METODOLÓGICO.....		49
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	49
3.1.1.	ENFOQUE.....	49
3.1.2.	ALCANCE O NIVEL	49
3.1.3.	DISEÑO.....	49
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	54
3.2.1.	POBLACIÓN	54
3.2.2.	MUESTRA.....	54
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	55
3.3.1.	TÉCNICA.....	55
3.3.2.	INSTRUMENTOS.....	55
3.4.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	55
CAPÍTULO IV.....		57
RESULTADOS.....		57

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	57
4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	73
CAPÍTULO V.....	74
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	74
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de los parámetros físicos y químicos del río Huallaga	30
Tabla 2 Valores de los parámetros biológicos del río Huallaga	30
Tabla 3 Parámetros Fisicoquímicos de estándares nacionales de la calidad ambiental	41
Tabla 4 Parámetros orgánicos e inorgánicos de estándares nacionales de la calidad ambiental	42
Tabla 5 Variable Dependiente.....	47
Tabla 6 Matriz experimental de los tratamientos y repeticiones.....	50
Tabla 7 Datos para el procesamiento de los parámetros físicos y de los metales pesados.....	57
Tabla 8 Datos para el procesamiento de los parámetros físicos y del % de remoción	58
Tabla 9 Datos para el procesamiento de los metales pesados y del % de remoción	59
Tabla 10 Resultados de los análisis descriptivos de los parámetros físicos y metales pesados.....	60
Tabla 11 Resultados de los valores medios de las variables de estudio	61
Tabla 12 Resultados de la caracterización de los parámetros físicos y de los metales pesados de canal del fundo Pacán	61
Tabla 13 Resultados del análisis estadístico de la comparación de medias de las variables de estudio	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de lugar de la realización del proceso experimental	51
Figura 2 Esquema del biofiltro (Policloruro de Vinilo PVC)	52
Figura 3 Cálculo de la presión calculada	53
Figura 4 Resultados del análisis estadístico del comportamiento del pH	63
Figura 5 Resultados del análisis estadístico del comportamiento de (CE) ..	64
Figura 6 Resultados del análisis estadístico del comportamiento de los Solidos Totales Disueltos (STD).....	65
Figura 7 Resultados del análisis estadístico del comportamiento de los Solidos Totales Disueltos (STD).....	66
Figura 8 Resultados del análisis estadístico del comportamiento del Hierro (Fe)	67
Figura 9 Resultados del análisis estadístico del comportamiento del Cobre (Cu), Antes y Post Filtración	68
Figura 10 Resultados del análisis estadístico del comportamiento de los parámetros físicos.....	69
Figura 11 Resultados del análisis estadístico del comportamiento de los metales pesados Antes y Post Filtración	71
Figura 12 Resultados de la prueba de hipótesis de las variables de estudio	73

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Construcción de los biofiltros y delimitación del área experimental	109
Fotografía 2 Preparación física de los residuos orgánicos para ser triturados en el molino.....	109
Fotografía 3 Preparación de los materiales orgánicos para los biofiltros...	110
Fotografía 4 Recolección de las muestras de los puntos 01 y 02	110
Fotografía 5 Traslado de las muestras para ser tratadas	111
Fotografía 6 Llenado del material orgánico al biofiltro	111
Fotografía 7 Llenado del efluente para análisis en laboratorio	112

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de metales pesados y mejora de parámetros físicos en el agua del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú, 2023. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño experimental puro, utilizando un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y tres repeticiones. La población consistió en 60,824 litros de agua del canal, y la muestra fue de 200 litros recolectados en dos puntos específicos. Se analizaron parámetros como pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), plomo (Pb), cadmio (Cd), hierro (Fe) y cobre (Cu). Los resultados mostraron que los biofiltros no fueron eficientes en la remoción de metales pesados, cuyas concentraciones se mantuvieron por debajo de los límites máximos permisibles según la normativa peruana. El pH disminuyó con bagazo de caña (4.04) y cascarilla de coco (6.56), pero se mantuvo cercano a neutro con aserrín de madera (6.97). La CE y STD aumentaron significativamente en todos los tratamientos. Se concluyó que los biofiltros no son eficientes para la remoción de metales pesados ni para mejorar los parámetros físicos evaluados. Sin embargo, las concentraciones de metales pesados estuvieron dentro de los límites permitidos, posiblemente debido a factores estacionales como las lluvias. Este estudio aporta información relevante para futuras investigaciones sobre tecnologías de bajo costo en la remediación de aguas en zonas agrícolas.

Palabras claves: Biofiltros, Bagazo de caña, Cascarilla de coco, Aserrín de madera, metales pesados, Parámetros físicos del agua, Conductividad eléctrica, Calidad del agua, Plomo, Cadmio, Hierro y Cobre.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the efficiency of biofilters with sugarcane bagasse, coconut husk, and wood sawdust in removing heavy metals and improving physical parameters in the irrigation canal water of the Pacán farm, Huánuco - Peru, 2023. The research was applied, with a quantitative approach and pure experimental design, using a completely randomized design (DCA) with three treatments and three replications. The population consisted of 60,824 liters of canal water, and the sample was 200 liters collected at two specific points. Parameters such as pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), lead (Pb), cadmium (Cd), iron (Fe), and copper (Cu) were analyzed. The results showed that the biofilters were not efficient in removing heavy metals, whose concentrations remained below the maximum permissible limits according to Peruvian regulations. The pH decreased with sugarcane bagasse (4.04) and coconut husk (6.56), but remained close to neutral with wood sawdust (6.97). EC and TDS increased significantly in all treatments. It was concluded that biofilters are not efficient in removing heavy metals or improving the physical parameters evaluated. However, heavy metal concentrations were within permissible limits, possibly due to seasonal factors such as rainfall. This study provides relevant information for future research on low-cost technologies for water remediation in agricultural areas.

Keywords: Biofilters, Sugarcane bagasse, Coconut husk, Wood sawdust, Heavy metal, Physical water parameters, Electrical conductivity, Water quality, Lead, Cadmium, Iron and Copper.

INTRODUCCIÓN

El impacto negativo sobre los cuerpos de agua a causa de metales pesados es una problemática global que afecta directamente la calidad de este recurso hídrico, la salud ecosistémica y la seguridad alimentaria. En el Perú, los canales de riego en zonas agrícolas están expuestos a la posible acumulación de metales como plomo (Pb), cadmio (Cd), hierro (Fe) y cobre (Cu), provenientes de fuentes naturales, escorrentías agrícolas o actividades industriales cercanas. En este contexto, el uso de tecnologías de bajo costo, como los biofiltros con materiales orgánicos, surge como una alternativa sostenible para mejorar la calidad del agua en comunidades rurales.

El presente estudio se centró en evaluar la eficiencia de biofiltros elaborados con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de metales pesados y la modificación de parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos) en el agua del canal de riego del fundo Pacán, Región Huánuco – Perú, 2023. Aunque investigaciones previas han demostrado la capacidad de estos materiales para adsorber contaminantes, su efectividad en condiciones reales y con concentraciones variables de metales aún requiere mayor evidencia científica.

La justificación de esta investigación radica en su aporte al desarrollo de soluciones accesibles y ecológicas para tratar estas aguas de riego, especialmente en zonas agrícolas con limitaciones económicas. Además, los resultados obtenidos permitirán determinar si estos biofiltros pueden ser implementados como una medida preventiva, incluso en casos donde las concentraciones de metales no superen los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la normativa peruana. El estudio contempló un diseño experimental puro con un enfoque cuantitativo, analizando muestras de agua antes y después del tratamiento con los biofiltros. Los hallazgos revelaron que, si bien las concentraciones de metales pesados se mantuvieron dentro de los rangos permitidos, los materiales filtrantes no demostraron una eficiencia significativa en su remoción. Sin embargo, se observaron cambios en el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos, lo que sugiere que estos materiales podrían influir en otras características del agua.

Esta investigación proporciono información valiosa para futuros trabajos sobre biorremediación de aguas contaminadas, destacando la necesidad de buscar mejoras en diseños de biofiltros y evaluar su funcionamiento en diferentes escenarios de contaminación. Asimismo, refuerza la importancia del monitoreo continuo de los recursos hídricos en zonas agrícolas para garantizar su sostenibilidad.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Según Guerrero et al. (2020) en la actualidad entre las mayores afectaciones ambientales la gran parte de las fuentes hídricas en el mundo tienen sobre carga de metales pesados, compuestos químicos de densidad alta (superior a 4 g/cm³), masa y peso atómico que sobrepasa los 20 y muy tóxicos incluso en concentraciones bajas, entre los elementos se tiene mercurio (Hg), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Cadmio (Cd), plomo (Pb), Aluminio (Al), berilio (Be), Cobre (Cu), entre otros.

A nivel mundial la contaminación de los ríos, en mayor porcentaje se debe a las actividades antrópicas, cuyas fuentes principales son las zonas industrializadas, residuos municipales y zonas extractivas, explotación y construcciones como excavaciones entre ellas la sobreexplotación agrícola, forestal, minería, quienes contribuyen con la presencia de metales pesados en sus cuerpos (Gonzales et al., 2014).

Calzada et al. (2018) indica que los ríos de la región Pasco y Huánuco están altamente contaminados con la presencia de metales pesados que exceden el nivel 3 del (ECA) riego de vegetales y consumo de animales; estos están divididos en la cuenca alta y cuenca baja; la cuenca alta presenta mayor contaminación en sus ríos y lagunas con metales pesados; arsénico; 0.04; Cobre, 1.43; Plomo; 0.04; Zinc; 1.7, y cadmio con 0.03mg/l. Así como también, la cuenca baja del río Huallaga presenta niveles de arsénico, cobre, plomo, zinc y cadmio, con valores de; 0.02; 0.096; 0.2; 0.13; <0.01, respectivamente.

Moreno et al. (2022) menciona que los metales pesados como el cobre, plomo, arsénico y cadmio suelen alcanzar concentraciones que generan consecuencia negativas en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del agua como: alteración del contenido orgánico, reducción de los nutrientes, cambios en el pH y fuertes variaciones en la temperatura, el plomo en el agua se concentra en las algas y raíces de especies marinas la cual se absorbe en mayor proporción por individuos con deficiencias de calcio, hierro y zinc.

Guerrero et al. (2020) manifiestan que para la salud humana los metales pesados como; el plomo, manganeso y cobalto, representan dificultades graves e irreversibles, esto por la carga toxica que puede provocar diversos daños al sistema nervioso, intoxicaciones tanto crónica y aguda que dificultarían las funciones normales del organismo. Las formaciones iónicas que muestran algunos metales como Pb^{2+} , Hg^{2+} tienden a reaccionar con las biopartículas internas del cuerpo formando compuestos tóxicos que necesitan ser aislados (Carolin et al., 2017).

Llanos (2002) la contaminación de ríos y océanos a nivel mundial ocurre cuando el ser humano introduce, de forma directa o indirecta, sustancias o formas de energía en los ecosistemas acuáticos incluidos los estuarios que generan o podrían generar impactos negativos, como el deterioro de la fauna y flora acuáticas, así como riesgos para la salud de las personas.

González et al. (2016) manifiesta que las aguas de los ríos a nivel mundial son la base del desarrollo dado que su uso es indispensable para el riego, acuicultura, forma recreacional, fuente eléctrica y desarrollo industrial, además para su potabilización, en algunas ocasiones es receptor de residuos generados de acciones antrópicas, lo cual es un factor determinante en la crisis de cantidad (caudales) y calidad.

Frente a este problema, los investigadores han considerado prioritario desarrollar y optimizar diversas estrategias para retener y extraer estos metales de los cuerpos de agua, con el objetivo de disminuir su toxicidad y así proteger tanto los ecosistemas acuáticos como la salud humana. Entre las técnicas disponibles para el tratamiento de estos contaminantes metálicos se incluyen procesos como la precipitación química, reacciones de óxido-reducción, intercambio iónico, filtración, métodos electroquímicos, tecnologías basadas en membranas, recuperación mediante evaporación, así como la adsorción y bioadsorción (Pabón Guerrero et al., 2020a).

Perú posee la mayor reserva hídrica de América Latina y figura entre los 20 países con mayor disponibilidad de agua a nivel mundial. Sin embargo, existe una marcada desigualdad en su distribución: mientras que el 65% de la población vive en la costa y solo tiene acceso al 1,7% del recurso hídrico

nacional, la cuenca amazónica concentra el 97,7% del agua, aunque solo alberga al 30% de los habitantes del país (Gonzales et al., 2014).

En diversas zonas mineras de la región Huánuco se ha identificado evidencia de derrames de petróleo. Varias de estas localidades carecen de infraestructura adecuada para contener y controlar el vertido de hidrocarburos y otras sustancias químicas. Estos derrames por las características de estos materiales son dañinos y afectan la calidad de agua corriente abajo del río Huallaga (ADI INTERNATIONAL INC, 1997).

La Ambiente (2018) indica que en la región Huánuco, están trabajando empresas mineras extractivas, entre ellas; la minera Milpo, Huarón, Minera Aurex, Atacocha, Volcán Compañía Minera y Sociedad Minera El Brocal, esto según un informe del año 2018 mencionado por Ministerio de Energía y Minas.

Miranda et al. (2011) manifiestan que gran parte del caudal del río Huallaga son desviadas para regar cultivos agrícolas, lo que da sentido a que las infecciones transmitidas por alimentos (ETA) establecen, según la organización mundial de la salud, un problema a la salud con mayor extensión en el mundo y la región de Huánuco causando el deterioro económico y una alta tasa de morbilidad que afecta la salud y calidad de vida de la población

En la región, provincia Huánuco y distrito de Amarilis se encuentra el fundo PACAN, quien por muchos años se dedica a regar sus plantaciones de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) con las aguas del río Huallaga sin ningún tipo de pre tratamiento y de quien deriva el mayor porcentaje de aguardiente de caña de azúcar, consumido en la región. Por ello el presente trabajo de investigación se centra en evaluar residuos o desechos orgánicos como filtros para tratar los contaminantes del agua del canal de riego del fundo PACAN, provenientes del río Huallaga.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál es la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de metales pesados del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de Sólidos totales en suspensión (STS), pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T°) del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023?
- ¿Cuál es la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de Plomo, Cadmio, cobre y hierro del canal de riego del fundo Pacán región Huánuco – Perú 2023?
- ¿Cuáles serán las características físicas y químicas de las aguas del canal de riego del fundo Pacán, en la región Huánuco – Perú 2023?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de metales pesados del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de Sólidos totales en suspensión (STS), pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T°) del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023.

- Evaluar la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de Plomo, Cadmio, cobre y hierro del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023.
- Determinar las características físicas y químicas de las aguas del canal de riego del fundo Pacán, en la región Huánuco – Perú 2023.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El uso de residuos orgánicos utilizados como biofiltros para tratar aguas metales pesados es una alternativa de gran impacto social, económico y ambiental debido a su gran capacidad física y química para retener sólidos en suspensión mejorando las características físicas (temperatura, pH, conductividad eléctrica) y químicos; Plomo (Pb), Cadmio (Cd), cobre(Cu), Hierro(Fe) entre otros también biológicos como la retención de bacterias (E. Coli, coliformes totales, salmonella sp.) y parásitos planos y redondos del agua tratada, generando un impacto ambiental que permite mejorar la calidad del agua contaminada y poder ser utilizada en las buenas prácticas agrícolas.

1.4.1. IMPACTO PRÁCTICO

Se tiene la oportunidad de promocionar el uso de la tecnología limpia en favor de la agricultura sostenible de la región Huánuco, la innovación y el uso de estas nuevas tecnologías impulsa el desarrollo sostenible al enfrentar el cambio climático, aumentar la resiliencia y apoya el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

1.4.2. IMPACTO TEÓRICO

Se da a conocer por medio de la investigación a la comunidad científica la capacidad de residuos orgánicos como filtros para tratar aguas contaminadas y mejorar su calidad, realizar la discusión con investigaciones similares y proponer nuevas alternativas para su uso en los campos agrícolas.

1.4.3. IMPACTO SOCIAL

El uso de residuos orgánicos como filtros en el tratamiento de las aguas de riego del fundo Pacán, permitirá mejorar la calidad del agua y

su uso en la agricultura, que se verá reflejado en la salubridad de la población y la calidad del suelo y aire.

1.4.4. IMPACTO AMBIENTAL

Promover una cultura y conciencia ambiental significa impulsar la convivencia armoniosa entre la población regional y los ecosistemas en un entorno limpio y compartido. Esto requiere fomentar actitudes favorables hacia el cuidado del medio ambiente y motivar acciones concretas que mejoren los comportamientos ambientales, especialmente en una sociedad donde aún se percibe una marcada carencia de estas prácticas.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Los costos de análisis por laboratorio de calidad de agua (parámetros fisicoquímicos) son elevados y no necesariamente recomendados por los estándares nacionales de la calidad ambiental (ECA), por lo que en el presente trabajo de investigación se priorizará analizar solo cuatro metales pesados considerados dañinos para la agricultura y seres humanos.

En la región no existe mucha información o experiencia científica relacionada con el tema de investigación.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La viabilidad del proyecto de tesis se sustenta en la disponibilidad de los recursos necesarios para su ejecución, incluyendo capital económico, personal capacitado, materiales, insumos y herramientas técnicas. Además, se dispone de un área física adecuada para el desarrollo del proceso experimental orientado a la producción de compost orgánico, lo que garantiza condiciones operativas óptimas para alcanzar los objetivos planteados.

Existe disposición de los desechos o residuos orgánicos a utilizarse en la investigación como: bagazo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), cascara de coco y aserrín de madera se establece 90 días aproximadamente para la fase experimental.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTE A NIVEL INTERNACIONAL

Se han realizado estudios vinculados a la utilización de desechos orgánicos en filtros para el tratamiento de aguas contaminadas y residuales, algunas de las cuales son:

Zhang (2023) investigo sobre *Contaminación subestimada por metales pesados en el río Minjiang - China: evidencias del monitoreo espacial y estacional de sedimentos con carga suspendida*. Artículo. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Fuzhou, Fuzhou, China. El objetivo de esta investigación fue evaluar la contaminación por metales pesados en el río Minjiang, prestando especial atención a la carga suspendida en los sedimentos y su variabilidad espacial y estacional. La metodología aplicada con nivel descriptivo, tomando el enfoque cuantitativo - longitudinal, que incluyó muestreos en diferentes estaciones del año y en múltiples puntos a lo largo del río. Los resultados revelaron concentraciones alarmantes de metales pesados, como plomo (Pb) que alcanzó hasta 0.15 mg/Kg, cadmio (Cd) tuvo 0.01 mg/Kg, y mercurio (Hg) con 0.05 mg/Kg en sedimentos durante períodos de lluvia. Las variaciones estacionales mostraron un aumento en los niveles de contaminación durante las estaciones de lluvias, lo que sugiere un mayor arrastre de sedimentos contaminados, también se confirmó que las actividades industriales y la escorrentía agrícola son las principales fuentes de contaminación en el área. Las conclusiones indicaron que la contaminación por metales pesados en el río Minjiang ha sido subestimada en estudios previos, lo que trae consigo implicaciones significativas para la salud ambiental y el manejo de recursos hídricos en la región.

Li et al., (2023) realizaron la investigación titulada *Evaluación de la contaminación con metales pesados y las características de la calidad del agua en los tramos de control del embalse en el medio del río Han, China*. Artículo. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Wuhan, Wuhan, China. El objetivo de esta investigación fue evaluar la contaminación por metales pesados en los tramos de control de un embalse en el medio del río Han y analizar las características de la calidad del agua. La metodología usada consistió en un enfoque cuantitativo, utilizando un diseño experimental con muestreos en múltiples puntos y diferentes profundidades a lo largo del embalse. Los resultados mostraron concentraciones de plomo (Pb) de 0.08 mg/L, cadmio (Cd) de 0.004 mg/L y mercurio (Hg) de 0.03 mg/L en el agua. En cuanto a los sedimentos, los niveles promedio de metales pesados fueron de 0.15 mg/Kg para plomo, 0.01 mg/Kg para cadmio y 0.12 mg/Kg para mercurio. Las características de la calidad del agua revelaron que, a pesar de los niveles de metales pesados, el agua del embalse cumplía en gran medida con las normativas de calidad para uso recreacional y agrícola. Sin embargo, se identificaron zonas de mayor riesgo que podrían afectar la salud pública y la biodiversidad acuática. Finalmente sugirieron la necesidad de un monitoreo continuo y de estrategias de gestión para mitigar la contaminación y proteger los recursos hídricos.

Zhou et al., (2020) realizaron la investigación titulada *Concentración total y fuentes contaminantes con metales pesados en masas de agua de ríos y lagos a nivel mundial, de 1972 a 2017*. Artículo. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Ciencias y Tecnología de Qingdao, Qingdao, China. El objetivo de esta investigación fue analizar las concentraciones totales de metales pesados en masas presentes en el los ríos y lagos de todo el mundo entre 1972 y 2017, así como identificar las fuentes más importantes de contaminación. La metodología usada fue de nivel meta-analítico, con un enfoque cuantitativo y un diseño de revisión sistemática, utilizando datos de múltiples estudios preexistentes para establecer un panorama global de la concentración de metales pesados.

Los resultados indicaron que la concentración de plomo (Pb) alcanzaron hasta 0.1 mg/L en algunos cuerpos de agua de América del Norte, mientras que el mercurio (Hg) se registró en concentraciones de hasta 0.05 mg/L en ríos de Asia. Los niveles de cadmio (Cd) y arsénico (As) variaron significativamente, siendo más altos en áreas industriales, asimismo sugirieron que la contaminación por metales pesados está asociada principalmente a actividades industriales, minería, el uso de fertilizantes en la agricultura y la escorrentía urbana. Finalmente concluyen que la alteración por metales pesados es preocupante y creciente a nivel global, destacando la necesidad urgente de implementar políticas más estrictas para la gestión de la calidad del agua y la protección de ecosistemas acuáticos y la salud pública.

2.1.2. ANTECEDENTE A NIVEL NACIONAL

Llanos (2024) realizó el trabajo de investigación titulado *Contaminación por metales pesados de microcuenca del río Alto Huallaga y suelos agrícolas*. Artículo. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú. El objetivo de esta investigación consistió en determinar niveles de contaminación por metales pesados (Cd, Pb y Cu) en el agua y suelos de la cuenca del río Huallaga, así como su influencia en la agricultura. La metodología empleada fue de nivel descriptivo, utilizando el enfoque cuantitativo y un diseño transversal. Los resultados cuantitativos mostraron que, el tramo Puente Taruca se encontraron niveles de cadmio (0,002 mg/L); plomo (0,07 mg/L) y cobre (2,7 mg/L) en las aguas. En los suelos de las riberas del río Huallaga, los niveles de contaminación fueron: cadmio (0,07 mg/Kg); plomo (0;5 mg/Kg) y cobre (2;5 mg/Kg) en el tramo Pallanchacra, mientras que en el tramo Churubamba se registraron niveles de cadmio (0.06 mg/Kg), plomo (0.9 mg/Kg) y cobre (2.3 mg/Kg). Los resultados cualitativos indicaron que las fuentes de contaminación se deben a los relaves mineros y al mal manejo de desechos, afectando la calidad del agua y del suelo en la región. Las conclusiones señalaron que el río Huallaga y sus suelos agrícolas están contaminados por metales pesados en niveles

preocupantes, lo que representa un riesgo significativo para la salud pública y la producción agrícola local.

Ocampo et al., (2023). realizaron la investigación titulada *Distribución de metales pesados en el agua y los sedimentos de un río urbano en un país en desarrollo: una evaluación probabilística del riesgo*. Artículo. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de San Marcos - Lima. Tuvo por objetivo evaluar la distribución de metales pesados, entre ellos plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg), del agua y los sedimentos de un río urbano en un país en desarrollo, así como realizar una evaluación del riesgo asociado a su presencia. La metodología usada fue de nivel descriptivo y analítico, utilizando un enfoque cuantitativo con un diseño transversal. Los resultados cuantitativos demostraron que la concentración de plomo alcanzó un promedio de 0.12 mg/L en el agua y 0.25 mg/Kg en los sedimentos, mientras que el cadmio se registró en 0.005 mg/L y 0.02 mg/Kg, respectivamente. La evaluación probabilística del riesgo reveló que un alto porcentaje de la población local podría estar expuesta a riesgos significativos para la salud debido a la ingesta de agua contaminada y la bioacumulación en la cadena alimentaria. Las conclusiones indicaron que la contaminación por metales pesados en el río estudiado representa un serio desafío para la salud pública y requiere medidas urgentes de mitigación y manejo.

Custodio et al. (2023) realizaron la investigación titulada *Riesgo Humano por Exposición a Metales Pesados y Arsénico en Agua de Ríos con Influencia Minera en los Andes Centrales del Perú*. Artículo. Facultad de Medicina Humana, Centro de Investigación de Medicina en Altura y Medio Ambiente, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Perú. El objetivo de la investigación fue evaluar los riesgos para la salud humana por estar expuestos a metales pesados y arsénico en las aguas de los ríos en zonas con incidencia de la minería de la zona Andina central del Perú. La metodología empleada fue de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño transversal, donde se realizaron análisis de muestras de agua de diferentes ríos afectados por

la minería en diferentes estaciones del año. La población comprendió las aguas de ríos en áreas mineras y la muestra consistió en 30 puntos de muestreo seleccionados estratégicamente. Los resultados indicaron que el 70% de las muestras analizadas presentaron concentraciones de arsénico superiores a los límites permisibles de 0.01 mg/L, con niveles alcanzando hasta 0.04 mg/L. Además, se detectaron altos contenidos de otros metales pesados, como plomo (Pb) con una media de 0.15 mg/L (superior al límite de 0.05 mg/L) y cadmio (Cd) con concentraciones que llegaron a 0.02 mg/L (límite permitido de 0.005 mg/L). En términos de salud, se observó que el 45% de los residentes en áreas cercanas reportaron síntomas de enfermedades relacionadas con la exposición a metales pesados, incluyendo afecciones gastrointestinales y dermatológicas. Finalmente subrayan la existencia de un riesgo significativo para la salud pública debido a la contaminación del agua con metales pesados.

2.1.3. ANTECEDENTE A NIVEL LOCAL

En la región Huánuco no se reportan y existe escasa información e investigaciones con respecto al análisis de la presencia de metales pesados en las aguas del río Huallaga, sin embargo, existen investigaciones relacionadas a la variable de estudio el cual se muestra a continuación:

Quispe et al. (2022). Realizaron la investigación titulada *Contaminación físico-química que genera la relavera de la empresa minera Nexa Resources-Milpo en el agua del río Huallaga la localidad la Quinua del distrito Yanacancha - Pasco*. Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Perú. El objetivo de la investigación fue analizar la contaminación físico-química en el agua del río Huallaga causada por los relaves de la empresa minera Nexa Resources-Milpo, enfocándose en su impacto en la calidad del agua en el centro poblado de la Quinua, distrito de Yanacancha. La metodología utilizada fue de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño experimental, llevando a cabo muestreos en distintos puntos del río y en diferentes períodos del año. La población

abarcó las aguas del río Huallaga, y la muestra se realizó en 10 puntos de muestreo seleccionados estratégicamente, con una frecuencia de muestreo mensual. Los resultados mostraron que el 80% de las muestras presentaron niveles de pH por debajo del rango aceptable de 6.5-8.5, alcanzando valores de hasta 5.5. Además, se encontraron concentraciones elevadas de metales pesados, como zinc (Zn) con valores de hasta 1.2 mg/L (límite permisible de 0.5 mg/L), y cobre (Cu) con hasta 0.8 mg/L (límite permisible de 0.2 mg/L). Se documentaron también efectos en la biota acuática, con una reducción del 50% en la diversidad de especies en comparación con puntos de muestreo más alejados de la relavera. Finalmente concluyen que la relavera de Nexa Resources-Milpo tiene un impacto significativo y negativo en la calidad del agua del río Huallaga, lo que representa un riesgo potencial para la salud de las comunidades aledañas y el ecosistema acuático. Se recomienda la implementación de programas de monitoreo continuo y medidas de remediación ambiental para mitigar los efectos adversos de la contaminación.

Ayunque (2024) realizó el trabajo de investigación titulado *Monitoreo de sedimentos en la cuenca alta del río Huallaga*. Tesis. Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo Universidad Nacional de Huánuco, Huánuco, Perú. El objetivo de la investigación fue establecer la posible causa de la presencia de metales en los sedimentos de la cuenca alta del río Huallaga. La metodología utilizada fue de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño experimental, llevando a cabo el monitoreo de sedimentos en varios puntos de la cuenca. La población incluyó los sedimentos de la cuenca alta del río Huallaga, y la muestra consistió en diferentes puntos de monitoreo, específicamente ESP-SED-01, ESP-SED-02, AT-SED-UD1, entre otros. Los resultados indicaron que las concentraciones de metales pesados alcanzaron niveles críticos, como plomo (Pb) con un promedio de 0.5 mg/kg (límite permisible de 0.1 mg/kg) y cadmio (Cd) con concentraciones hasta 0.03 mg/kg (límite permisible de 0.005 mg/kg). La investigación concluyó que la concentración de metales en el cauce del río Huallaga no puede ser

atribuida a las operaciones de la unidad minera Atacocha, sino que es el resultado de procesos naturales, proporcionando así una nueva perspectiva sobre la calidad de los sedimentos en la región.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. EL AGUA DE LOS RÍOS Y QUEBRADAS

Como menciona el ANA (2017) las aguas de los ríos y quebradas constituyen un recurso natural esencial tanto para cubrir múltiples necesidades socioeconómicas como para conservar el equilibrio de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, el rápido aumento de la población impulsa el crecimiento de actividades productivas como la minería, la industria y la agricultura, las cuales representan las principales fuentes de deterioro de la calidad del agua, debido a la descarga directa de residuos sin tratamiento previo.

Reconociendo que el agua desempeña un papel crucial en la satisfacción de diversos usos socioeconómicos y ecológicos, según el artículo 35° de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, (LRH) se estableció los diferentes usos de agua.

Para fines productivos, el uso del agua se refiere a su empleo dentro de los procesos de producción o en actividades previas a estos, según lo establece el Art. 42°. En situaciones donde exista concurrencia para acceder al recurso hídrico con fines productivos, se establece un orden de prioridad. Primero se consideran los usos agrícolas, acuícolas y pesqueros; luego los energéticos, industriales, medicinales, mineros, recreativos, turísticos y de transporte; y, finalmente, se contemplan otros tipos de uso (ANA, 2017).

2.2.1.1. EL AGUA DE LOS RÍOS Y QUEBRADAS EN EL PERÚ

Gamarra (2018) manifiesta que el agua del río y quebradas en el Perú es un recurso esencial pero susceptible a la contaminación. Su calidad superficial en una determinada región está determinada tanto por factores naturales como la cantidad de

precipitaciones, la dinámica de erosión y el desgaste del suelo como por actividades humanas, incluyendo los usos domésticos, industriales y agrícolas.

Cusiche et al. (2019) afirma que el Perú los contaminantes en el agua se muestra como un mayor problema ambiental donde existen industrias e instituciones (minera, hospitalarias, mercados) los cuales vierten las aguas con carga de contaminantes directamente a los ríos y quebradas de las diferentes cuencas regionales.

2.2.1.2. EL AGUA DE LOS RÍOS Y SU USO EN LA AGRICULTURA

Para Sánchez et al. (2021) El empleo del agua proveniente de ríos y quebradas en las actividades agrícolas es la alternativa más comúnmente utilizada en todo el mundo. Este recurso, además de ser limitado, posee un alto valor, por lo que debe cumplir ciertos parámetros de calidad para evitar afectar los productos cultivados. El riego con agua contaminada representa un serio riesgo tanto para la salud humana como para la integridad de los suelos.

Según Avilés (2006) el agua representa un recurso esencial para la vida, aunque su disponibilidad es limitada. Menos del 1% del volumen total de agua en el planeta corresponde a agua dulce accesible para el ser humano. Su demanda se distribuye entre distintos sectores: aproximadamente el 25% es utilizado por la industria, el 10% se destina al consumo doméstico, comercial y a servicios urbanos municipales, mientras que cerca del 8% se emplea en actividades agrícolas para riego.

Cierta cantidad del agua que usan en granjas y fundos para los riegos son provienes de ríos o arroyos, la calidad es importante para las plantaciones y bebida de animales, las infecciones por bacteria persisten en plantas lo cual pueden ser consecuencia de elementos tóxicos presentes en ellas (Pérez, 2021, p.21)

IICA (2013) la agricultura se desarrolla en una simbiosis de tierras y aguas y al mismo tiempo es víctima de su propia contaminación, el agua y la agricultura están indisolublemente unidas, materializado en diseños y obras de ingeniería como los sistemas de riego.

2.2.1.3. LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DE RIO EN LOS CAMPOS AGRÍCOLAS

Brown y Reyes (2003) señalan que, con el fin de mantener la productividad agrícola frente a las variaciones climáticas, los agricultores han implementado sistemas de riego adaptados tanto a la disponibilidad de agua como a sus requerimientos productivos. Esta práctica genera alteraciones en el suelo, tanto directas como indirectas, que en la mayoría de los casos resultan irreversibles (Bifani, 1999). Cuando el riego se basa en una fuente específica de agua —como un río, arroyo o manantial— existe el riesgo de que el caudal disminuya progresivamente, e incluso que dicha fuente llegue a desaparecer. Por ello, se recomienda someter estas aguas a un tratamiento previo antes de su uso agrícola, debido a los posibles riesgos asociados a la presencia de microorganismos patógenos y compuestos químicos (Sandia et al., 1999).

Un elemento relevante en los sistemas de riego es el manejo final de los efluentes contaminados. Después de ser utilizados en las actividades agrícolas, estos arrastran sustancias químicas —como fertilizantes y biocidas— que, mediante escorrentía o infiltración, pueden llegar a cuerpos de agua destinados al consumo humano o a servir como reservorios hídricos (Brown y Reyes, 2003), citado de (Turk et al., 1976).

Según Gómez y Duarte (2018), citado de la National Oceanic and Atmospheric Administration, aproximadamente 1.4 millones de libras de residuos sólidos llegan en las aguas de ríos y mares cada año sufriendo alteraciones por metales pesados, agentes

químicos, drogas, pesticidas, elementos radioactivas y otros contaminantes solubles en el agua.

Ruiz (2021), indica que los principales contaminantes de los ríos con las compañías mineras a pesar de tener planes de mitigación y manejo ambiental en su plan de trabajo y por exigencia de la normatividad donde desarrollan su actividad.

La pirita (FeS_2) es el sulfuro más común en la naturaleza; sin embargo, también se encuentran otros minerales de interés económico, como la calcopirita (CuFeS_2), la esfalerita o blenda (ZnS), la galena (PbS) y la arsenopirita (FeAsS), entre otros. Estos compuestos permanecen en el subsuelo sin representar un riesgo ambiental, pero al entrar en contacto con el agua, se oxidan y generan procesos de contaminación (Cusiche y Miranda , 2019)

Gonzales et al (2014) La interacción entre el agua y los compuestos sulfurosos provoca la generación de acidez, mediante la liberación de iones hidrógeno (H^+), y conlleva la emisión significativa de sulfatos (SO_4^{2-}) y hierro en estado ferroso (Fe^{2+}). Este proceso da lugar a un lixiviado altamente tóxico, con un elevado potencial contaminante.

El hierro férrico (Fe^{3+}) es otro mineral que puede contaminar los cuerpos de agua, permaneciendo en solución cuando el pH es inferior a 3 o precipitándose como hidróxido férrico. Esta reacción contribuye a aumentar la acidez del medio. Tanto el hierro férrico como los hidróxidos precipitados generan una tonalidad rojiza o amarillenta característica en los ríos impactados por actividades mineras (Ruiz, 2021)

2.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LAS AGUAS DEL RIO HUALLAGA

Según LA ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA Y ECONÓMICA DEL GRH, (2016), manifiesta que los parámetros fisicoquímicos y biológicos

del río Huallaga depende de la época de año, meses de época de lluvia y actividad antrópica, aproximadamente los valores son:

Tabla 1

Valores de los parámetros físicos y químicos del río Huallaga

IIAP MAYO JULIO		SINDLAR ENERO MARZO
Parámetros	Valor	Valor
pH	6,8 - 8,5	7,6 – 8,4
O ₂	3,0 - 9,4 mg/L	7,2 – 9,1
Conductividad eléctrica	35,3 - 900 µS/cm	32,0 – 367 µS/cm
Sólidos Disueltos	16,6 - 455mg/L	25,0 – 184 mg/l

Nota. Información recolectada del Gobierno Regional de Huánuco (2016). Fuente: GRH (2016)

Tabla 2

Valores de los parámetros biológicos del río Huallaga

NMP	NMAV	STAF	Estrepto- cocos.	NML	Vibrión	Salmonella	Cristo sp.	Nitritos	Nitratos
m/O	103	103	103	103					
1100	220	56	72	4			Presencia		

Nota. La tabla muestra los parámetros biológicos del río Huallaga. Fuente: Dimas (2011)

Manrique (2016) indica que los valores de Cadmio (Cd) en el río Huallaga oscilan entre 0.01 hasta 0.19 ppm, la presencia de plomo (Pb) desde 0.40 hasta 3.10 ppm, Cobre (Cu) de 0.16 hasta 0.72 ppm, Hierro (Fe) de 1.4 – 5.41, Zinc (Zn) de 0.05 – 0.32 ppm y Magnesio (Mn) de 0.07 hasta 1.37ppm (p.14)

2.2.3. PARÁMETROS FÍSICO - QUÍMICO DEL AGUA DE RÍO

2.2.3.1. pH

En la mayoría de los cuerpos de agua, el pH suele situarse entre 6,5 y 8,5, rango influenciado por procesos naturales como la turbulencia y la aireación. En zonas donde las aguas fluyen sin intervención humana, este parámetro está en gran medida condicionado por la geología de la cuenca y regulado por los equilibrios entre dióxido de carbono, bicarbonatos y carbonatos

(Arbeláez, 2017). Además, el pH determina la alteración química de diversos metales, así como su solubilidad y disponibilidad biológica en el medio acuático (Miranda et al., 2011)

2.2.3.2. TEMPERATURA

La temperatura del agua constituye un parámetro fundamental, ya que afecta el desarrollo de la vida acuática, la velocidad de las reacciones químicas y la idoneidad del agua para distintos usos. También es un indicador relevante de la calidad del recurso hídrico, pues influye en otros parámetros como el pH, el nivel de oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y varias propiedades fisicoquímicas adicionales (Puerta, 2019).

2.2.3.3. SÓLIDOS TOTALES

Según Aguirre (s.f.), los sólidos totales (STS) comprenden tanto los sólidos disueltos como los suspendidos. Los primeros están conformados por compuestos como carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y diversos cationes (calcio, magnesio, sodio, potasio, entre otros). Los sólidos suspendidos, por su parte, provienen de la erosión del suelo, restos orgánicos y plancton. Su concentración puede variar ampliamente: desde menos de 10 ppm en aguas de lluvia o nieve, hasta valores cercanos a 300 000 ppm en salmueras.

La medición de sólidos totales es esencial para controlar procesos de tratamiento físico y biológico de aguas residuales, así como para verificar el cumplimiento de normativas relacionadas con su descarga (Hernández y Solano, 2008).

2.2.3.4. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Orjuela (2006) menciona que, la conductividad eléctrica es una medida que expresa la capacidad de las aguas —ya sean fluviales o marinas— para conducir corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura en el momento de la medición. Los ríos donde existe mayores compuestos inorgánicos

son buenas conductoras y en aquellas donde existe mayor concentración de materia orgánica estas no se disocian por lo tanto conductividad eléctrica es muy baja.

2.2.4. METALES PESADOS

Uno de los problemas ambientales más significativos a nivel global es la contaminación de las fuentes de agua por metales pesados, debido a la elevada toxicidad que estos presentan en los ecosistemas acuáticos. Entre los metales más comunes se encuentran aluminio (Al), berilio (Be), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb), etc. (Pabón et al., 2020. p.3)

Según (Ferrer, 2003) menciona que, entre los metales intrínsecamente más tóxicos destacan el plomo (Pb), el mercurio (Hg), el semimetal arsénico (As) y el cadmio (Cd). Estos elementos causan daños severos en funciones celulares esenciales para la supervivencia, interfieren con metales biológicamente importantes y generan complejos metal-proteína que ocasionan inhibición enzimática, afectando directamente a los órganos celulares (p.4)

Muchos metales tienden a bioacumularse en organismos acuáticos, tanto vegetales como animales, alcanzando mayores concentraciones a medida que avanzan en la cadena trófica. Esto representa un riesgo para la salud humana. El As, Cd, Cr, Hg y Pb son considerados altamente peligrosos, aunque metales esenciales como el Cu y el Zn también pueden resultar tóxicos si superan ciertos valores críticos (Laino-Guanes et al., 2015)

Moreno et al. cómo se citó de kloke (1980) los niveles normales de Cu, Cd, Pb y As en suelos varían entre 1,0–20 mg/kg para Cu; 0,1–1,0 mg/kg para Cd; 0,1–20 mg/kg para Pb; y <5,0–40,0 mg/kg para As. Las plantas reaccionan a la presencia de metales pesados con alteraciones en los procesos respiratorios, reducción de ATP, afectación en la fijación de nitrógeno, acumulación de elementos tóxicos y daños en la reproducción.

Las actividades antrópicas están en constante producción de plomo al medio ambiente, como son las industria de los combustibles, el parque automotriz y la industria de la construcción es por eso que la contaminación por plomo y metales pesados a menudo provienen de la suciedad, suelo, agua y aire (Rivera y Moccetti, 2018)

2.2.4.1. PLOMO

Reyes et al. (2016) explican que el plomo (Pb) ha sido ampliamente utilizado por su resistencia a la corrosión, maleabilidad y capacidad para formar aleaciones. No obstante, es altamente tóxico y tiende a acumularse en órganos, tejidos, huesos y dientes a lo largo del tiempo. La severidad de la intoxicación por plomo depende de la edad de la persona y del grado de exposición (Bayona, 2009). En plantas, el plomo provoca reducción del crecimiento radicular, disminución en la frecuencia mitótica y aumento de células aberrantes (Lannacone y Alvarino 2005. p.3)

Llanos (2023) indica que la concentración de metales en los ríos varía según la época del año: durante la estación seca el caudal disminuye y los metales se concentran en mayor proporción, mientras que durante la época lluviosa se dispersan a mayor distancia. En ríos como Huallaga, Pallanchacra, San Rafael, Blanco, Huertas, Huancachupa, Higuera y Churubamba se reportaron concentraciones máximas de Pb de 0.09 mg/L, y valores promedio de Cd: 0.0035 mg/L, Pb: 0.07 mg/L y Cu: 1.77 mg/L.

Así mismo Arce y Calderón (2017), reportaron valores de la presencia del plomo en época de lluvia un promedio 5,347mg/Kg y en época de lluvia promedio de 5,040 mg/Kg en las aguas del río Mantaro.

Se han reportado altos contenidos de plomo (Pb), Cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en los ríos altoandinos donde existe la presencia de actividades mineras y de la industria de la construcción, estos contenidos fueron evaluados en época seca con respecto a la estación de año (Santos et al., 2018).

2.2.4.2. CADMIO

Según Guerrero et al., (2020) explican que el cadmio forma parte natural de ciertos suelos y rocas, liberando aproximadamente 25 000 toneladas al ambiente. Este metal destaca por su alta capacidad de acumulación en plantas. Su presencia genera desequilibrios severos en los procesos de nutrición y en el transporte de agua en los tejidos vegetales (Singh y Tewari, 2003)

2.2.4.3. COBRE

Es un metal de transición esencial en bajas concentraciones para los organismos vivos y participa en procesos biológicos como la formación de enzimas y la respiración celular; sin embargo, en concentraciones elevadas puede ser tóxico y representar un importante contaminante en sistemas acuáticos y terrestres. (López et al., 2022).

2.2.4.4 HIERRO

Es un metal de transición ampliamente distribuido en la naturaleza y uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre. En los sistemas biológicos, el hierro es considerado un micronutriente esencial, debido a su participación en procesos fundamentales como el transporte de oxígeno, la respiración celular y la actividad de diversas enzimas. No obstante, cuando se encuentra en concentraciones elevadas, puede generar impactos negativos en el ambiente, especialmente en los ecosistemas acuáticos (Singh et al., 2020).

2.2.4.4. ADSORCIÓN DE METALES PESADOS CON MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS

Vizcaíno et al. cómo se citó de Lavado et al. (2010) explica que los métodos más empleados para tratar efluentes con metales pesados, como el plomo, incluyen la precipitación, el intercambio iónico, la ósmosis inversa y la adsorción.

La adsorción es un proceso superficial mediante el cual un soluto (átomos, iones o moléculas) pasa a un material sólido poroso —el adsorbente— separándose del medio líquido. Esto contrasta con la absorción, que implica un proceso volumétrico (Vizcaíno, 2017.p.2)

Cuando se emplean materiales biológicos, el proceso se denomina biosorción, resultando de interacciones indirectas entre iones y componentes celulares de organismos vivos o muertos, como hongos, algas, levaduras, microorganismos o residuos vegetales (Murithi et al. 2014.p3). La afinidad del adsorbente por el adsorbato determina el enlace entre ambos hasta alcanzar un equilibrio entre la fracción disuelta y la retenida (Vizcaino como se citó de Cuizano y Navarro, 2008. p.12).

Según Reyes (2022) destaca que los residuos de biomasa vegetal funcionan como bioacumuladores de metales mediante diversos mecanismos de adsorción, tanto en células vivas como muertas. Estos procesos; intercambio iónico, precipitación, complejación o atracción electrostática (Bankar y Nagaraja, 2018): son considerados sostenibles debido a su eficacia y bajo costo. En la biosorción con biomasa no viva, el proceso resulta más eficiente, no se ve afectado por la toxicidad metálica y facilita la desorción, recuperación y reutilización del material (Reyes, como se citó de Shamim, 2018. p.4).

2.2.5. FILTRO

Perdomo y et al. (2020) un filtro es, en general, un dispositivo formado por componentes para producir cambios específicos en el material filtrante o de entrada (afluente) y obtener un material modificado (efluente) con las características deseadas. Los filtros son de gran uso para las diferentes necesidades del ser humano, como tratar aguas contaminadas.

2.2.6. BIOFILTRO

Según Torres et al. (2022) los biofiltros son sistemas de tratamiento biológico que utilizan microorganismos para eliminar contaminantes del agua, mejorando su calidad mediante procesos de adsorción y degradación biológica. Los biofiltros son dispositivos que emplean materia orgánica y microorganismos para purificar aguas residuales, facilitando la remoción de compuestos orgánicos e inorgánicos a través de procesos de filtración natural (Fernández y López, 2023).

Los biofiltros representan una tecnología sostenible que combina principios de ingeniería y ecología, donde los materiales orgánicos presentes degradan contaminantes en el agua, contribuyendo así a un saneamiento más eficiente (Rojas et al., 2021).

2.2.6.1. LA BIOFILTRACIÓN FÍSICA

La filtración física es un proceso fundamental en la operación de biofiltros, permitiendo la remoción de sólidos en suspensión en aguas residuales a través de una estructura porosa. La eficacia de este proceso depende de varios mecanismos de retención y sedimentación que interactúan para mejorar la calidad del efluente tratado.

La retención de sólidos ocurre a través de diversos mecanismos que pueden ser clasificados en intercepción, filtración por tamaño y adhesión molecular. La estructura porosa de los medios filtrantes permite que estas interacciones se manifiesten de manera efectiva:

El fenómeno de la intercepción se produce cuando partículas en suspensión chocan con las fibras del medio filtrante y quedan atrapadas debido a su tamaño y a la proximidad a la superficie (Martínez et al., 2023). En el caso de la filtración por tamaño, los materiales filtrantes actúan como una barrera mecánica, donde las partículas más grandes son incapaces de atravesar los poros y son retenidas, la eficiencia de este mecanismo está influenciada por la velocidad del flujo del agua y el tamaño de los poros (González et

al., 2023). La adhesión molecular ocurre cuando las interacciones intermoleculares, como las fuerzas de Van der Waals, también facilitan la retención de partículas más pequeñas, mejorando la capacidad del biofiltro para eliminar sólidos en suspensión (Ramírez y Torres, 2023).

2.2.6.2. SEDIMENTACIÓN

La sedimentación es otro proceso crítico que contribuye a la eficacia de los biofiltros. Las partículas que quedan atrapadas pueden sedimentarse debido a la gravedad, un mecanismo que es particularmente efectivo para partículas más grandes y densas

López et al. (2023) manifiesta que la gravedad actúa sobre las partículas atrapadas, causando que se depositen en el medio filtrante, las partículas más grandes tienden a sedimentarse más rápidamente, este proceso es esencial para mejorar la característica de remoción de sólidos en el efluente. Ocurre también que a medida que las partículas se sedimentan, pueden facilitar la aglomeración de otras partículas mediante la formación de flóculos. Esto no solo mejora la capacidad de retención del sistema, sino que también optimiza el proceso de filtración al permitir que las partículas se eliminen más eficientemente (Fernández et al., 2023).

2.2.6.3. FILTRACIÓN QUÍMICA

Los componentes orgánicos como el bagazo de caña, la cascarilla de coco y el aserrín tienen una alta capacidad de adsorción. Los metales pesados presentes en el agua se pueden adherir a su superficie de estos materiales por medio de interacciones químicas, como fuerzas de Van der Waals y enlaces iónicos.

Los componentes químicos de los materiales orgánicos pueden influir en el pH del efluente, lo que a su vez puede afectar la solubilidad de los metales pesados, facilitando su precipitación o

eliminación. En el proceso de adsorción se produce a través de interacciones químicas que incluyen:

a. Fuerzas de Van der Waals

Según Rodríguez et al. (2021) las Fuerzas de Van der Waals son interacciones débiles que permiten que las moléculas de metales pesados se adhieran a la superficie de los materiales orgánicos. Aunque son menos fuertes que los enlaces covalentes, su efecto acumulativo puede ser significativo en la retención de contaminantes.

b. Enlaces iónicos

Los metales pesados, que generalmente tienen cargas positivas, pueden formar enlaces iónicos con grupos funcionales presentes en la superficie de los materiales orgánicos. Esto es especialmente relevante en el caso de metales como el plomo (Pb^{2+}) y el cadmio (Cd^{2+}), que pueden ser adsorbidos de manera efectiva en condiciones adecuadas de pH (Rodríguez et al., 2021)

c. Cambio de pH

El pH del efluente es un factor crítico que puede influir en la solubilidad de los metales pesados y, por ende, en su eliminación. La composición química de los materiales orgánicos puede afectar el pH del agua tratada de las siguientes maneras:

Según Mao et al. (2022), en un ambiente ácido, muchos metales pesados tienden a permanecer en forma disuelta, lo que aumenta su biodisponibilidad y toxicidad, en contraste, un pH más alto puede favorecer la precipitación de estos metales como hidróxidos, facilitando su eliminación. Para González et al. (2023) indica que un pH óptimo puede maximizar la interacción entre los metales pesados y los grupos funcionales de los materiales orgánicos, como el bagazo de caña y la cascarilla de coco, mejorando así la eficiencia de la adsorción.

Smith y Chen (2023) mencionan que los cambios en el pH pueden alterar las interacciones químicas entre los metales

pesados y los materiales filtrantes. Un pH bajo favorece la formación de complejos solubles, mientras que un pH alto puede aumentar la precipitación de metales, influyendo en su remoción.

2.2.7. FILTROS DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Rodríguez (2015), señala que los filtros biológicos, o biofiltros, son sistemas conformados por un lecho filtrante con actividad biológica capaz de eliminar diversos compuestos contaminantes presentes en corrientes de fluidos. Estos dispositivos se utilizan en el control de la contaminación del agua y del aire, y resultan especialmente eficaces como método de pretratamiento de aguas residuales y de ríos contaminados, ya que contribuyen a mejorar sus parámetros de calidad. La eficacia de un filtro de residuos orgánicos depende de las características físicas y químicas del material filtrante, así como de su interacción con las sustancias que deben retenerse. En este proceso pueden presentarse fenómenos como intercambio iónico, conversión y descomposición biológica, absorción, adsorción, precipitación, oxidación y reducción, entre otros (Hernández, 2008).

2.2.7.1. BAGAZO DE CAÑA (SACCHARUM OFFICINARUM)

Según Alarcón (2016), el bagazo de caña está compuesto por agua, sólidos particulados y una menor proporción de sólidos solubles. Sus valores característicos se distribuyen aproximadamente así: humedad entre 46–52 %, sólidos particulados entre 40–46 %, y sólidos solubles entre 6–8 %.

Este material lignocelulósico formado principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina es un subproducto generado en los ingenios azucareros tras la extracción del jugo de la caña, y representa entre el 25 % y el 40 % del total procesado, dependiendo del contenido de fibra de la caña y de la eficiencia del proceso extractivo (Pernalet et al., 2008).

(García et al., s.f.) manifiesta que el bagazo de caña por ser un material poroso tiene la capacidad de retener sólidos en suspensión y contaminantes, con un uso de 20 cm de cama de

adsorbente y un flujo de 2.2 ml/min, a los 25 minutos alcanza condiciones de equilibrio equivalente a la saturación y es más eficiente cuando tiene el pH, más ácido 4.0, pues aumenta su capacidad de retención de los iones metálicos.

2.2.7.2. CASCARA DE COCO (COCOS NUCIFERA L.)

Rondón y et al., (2021) Citado de Dhyani, & Bhaskarlas (2017), explican que la cáscara de coco es un residuo agroindustrial que, pese a su condición de desecho, constituye una fuente importante de fibra natural, con una composición promedio de 36 % de celulosa, 25 % de hemicelulosa y 28 % de lignina. Su aplicación en el tratamiento de aguas residuales e industriales ha mostrado resultados significativos, especialmente en la remoción de fenoles, fluoruros, hierro, plomo y cromo (Perdomo et al., 2020)

2.2.7.3. ASERRÍN DE MADERA

Sucto (2019) afirma que el aserrín es un subproducto abundante de la industria maderera y está estructuralmente compuesto por celulosa, hemicelulosa y lignina. Diversas investigaciones demuestran que los materiales naturales con esta composición son eficaces para remover metales pesados (Sucto 2019 citado de Torres et al., 2013).

Aunque la celulosa y la lignina poseen por sí mismas una capacidad relativamente baja de adsorción de metales, esta puede incrementarse mediante modificaciones químicas. Dichos cambios actúan sobre los grupos hidroxilos (-OH) presentes en cada unidad de glucosa de la celulosa, lo que permite aumentar significativamente su capacidad adsorbente. Estas propiedades hacen viable el uso del aserrín como material para retener contaminantes y metales pesados en ríos y aguas residuales (Pagnanelli et al., 2003).

2.2.8. MARCO NORMATIVO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL PERÚ

MINAM (2017) estableció los estándares nacionales de la calidad ambiental para el agua con el objetivo de ser reutilizados en el riego de vegetales y consumo de animales, los niveles de concentraciones o el grado de elementos, sustancias o parámetros fisicoquímicos y biológicos presentes son:

Tabla 3

Parámetros Fisicoquímicos de estándares nacionales de la calidad ambiental

Parámetros fisicoquímicos	Unidad	Valor
Conductividad Eléctrica	(Us/cm)	<=2500
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<=15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
pH	Unidades de pH	6,5 - 8,4

Nota. El cuadro muestra los parámetros físicos del ECA, en el Perú. Fuente: MINAM (2017)

Tabla 4

Parámetros orgánicos e inorgánicos de estándares nacionales de la calidad ambiental

Parámetros inorgánicos	Unidad	Valor
Cobre	mg/L	0,5
Hierro	mg/L	1.0
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Zinc	mg/L	2.0
Plomo	mg/L	0.05
Cadmio	mg/L	0.01

Nota. El cuadro muestra los parámetros químicos del ECA, en el Perú. Fuente: MINAM (2017)

2.2.9. MARCO INSTITUCIONAL

Según el ministerio del ambiente (2015) en el Perú la Autoridad Nacional del Agua (ANA) es la entidad responsable, por mandato legal, de la gestión del recurso hídrico. Esta institución dirige tanto el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos (SNGRH) como el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH).

La ANA es un organismo técnico especializado adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego, encargado de administrar, conservar, proteger y asegurar el aprovechamiento sostenible del agua en las distintas cuencas hidrográficas del país, además de fomentar la cultura del agua.

Como ente rector del SNGRH, la Autoridad Nacional del Agua constituye la máxima autoridad técnico-normativa en la materia. Fue creada el 13 de marzo de 2008 mediante el Decreto Legislativo N.º 997 y sus funciones se orientan al manejo sostenible de los recursos hídricos y a la promoción de buenas prácticas relacionadas con su uso (MINAM – ESDA, 2015. p.410).

En cuanto a la distribución de responsabilidades sobre los recursos hídricos, destaca el rol de los Gobiernos Regionales (GORE), los cuales poseen el mandato constitucional de impulsar el desarrollo económico de sus jurisdicciones, conforme al artículo 192 de la Constitución Política del Perú. Asimismo, comparten funciones en la planificación y gestión

del agua, tal como establece el artículo 52 de la Ley Orgánica de Gobiernos Regionales (MINAM – ESDA, 2015. p.412).

2.2.9.1. IMPACTOS AMBIENTALES

El Ministerio del Ambiente MINAM (2014) reporta que, para 2012, solo el 32% de las aguas residuales del país recibían algún tipo de tratamiento, cifra que representa un aumento respecto al 21% registrado en 2003. No obstante, existe aún una brecha significativa, ya que, en regiones como Amazonas, Apurímac, Huancavelica, Huánuco, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali no se realiza tratamiento de aguas residuales.

La calidad del agua es evaluada en 98 de las 159 cuencas hidrográficas del territorio nacional; sin embargo, más del 40% de estas (41 cuencas) no cumple con los estándares de calidad ambiental establecidos (ANA, 2015). Entre los principales factores de deterioro se encuentran la ausencia de tratamiento de aguas servidas, la contaminación proveniente de actividades industriales y mineras, y el uso de agroquímicos. En 2012 se registraron 1 252 casos de intoxicación por metales pesados, principalmente en Junín y Pasco, asociados sobre todo al plomo y sus compuestos (MINAM, 2014).

Según la OCDE (2016) más del 40% de las cuencas evaluadas no alcanzan los estándares de calidad ambiental. Entre los problemas más recurrentes figuran los vertimientos sin tratamiento provenientes de actividades mineras informales, la expansión de la extracción de áridos en los ríos, el incremento de construcciones, el uso intensivo de agroquímicos en zonas agrícolas y la presencia de pasivos ambientales que afectan los ríos fronterizos, generando importantes impactos ecológicos.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

- **Agentes Contaminantes**

Residuos que representan un riesgo significativo para el medio ambiente debido a características peligrosas como toxicidad, inflamabilidad,

corrosividad, reactividad química u otras propiedades adversas que pueden comprometer la salud humana y ecológica.

- **Aguas residuales**

Agua residual que presenta una carga de materia orgánica e inorgánica, tanto disuelta como en suspensión, como resultado de su utilización previa por actividades domésticas, industriales o comerciales.

- **Biodegradación**

Proceso de descomposición de compuestos orgánicos llevado a cabo por microorganismos en distintos medios como el suelo, la atmósfera, cuerpos de agua receptores o sistemas de tratamiento de aguas residuales.

- **Carga orgánica**

Corresponde al resultado de multiplicar la concentración promedio de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) por el caudal medio registrado en un mismo punto de muestreo. Este valor se expresa en kilogramos por día (kg/d) y representa la carga orgánica diaria transportada por el flujo de agua.

- **Coliformes**

Microorganismos gram negativos de morfología alargada que poseen la capacidad de fermentar lactosa con generación de gas a temperaturas de 35 a 37 °C, conocidos como coliformes totales. Aquellos que presentan esta misma actividad fermentativa a temperaturas más elevadas, entre 44 y 44,5 °C, se clasifican como coliformes fecales. Ambos grupos se emplean como indicadores microbiológicos de contaminación de origen biológico.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ó Demanda de oxígeno**

Parámetro que representa el volumen de oxígeno consumido durante la estabilización biológica de compuestos orgánicos carbonáceos y nitrogenados, mediante la actividad microbiana bajo condiciones controladas de tiempo y temperatura (habitualmente cinco días a 20 °C). Este indicador permite estimar de forma indirecta la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en una muestra.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Parámetro que cuantifica el oxígeno necesario para llevar a cabo la oxidación química de la materia orgánica presente en aguas residuales, mediante el uso de agentes oxidantes inorgánicos como el permanganato o el dicromato, bajo condiciones de acidez y elevadas temperaturas.

- **Metales pesados**

Se trata de elementos químicos con propiedades tóxicas y masa molecular elevada, que generalmente presentan densidades superiores a 5,0 g/cm³. Entre los más representativos se encuentran el plomo, plata, mercurio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, molibdeno, níquel y zinc.

- **Plomo**

Metal pesado empleado históricamente por sus propiedades de resistencia a la corrosión, alta ductilidad y maleabilidad, así como por su capacidad para formar aleaciones. No obstante, presenta una elevada toxicidad para los organismos vivos.

- **Cadmio**

Es identificado como uno de los metales pesados con alta propensión a bioacumularse en tejidos vegetales.

- **Cobre**

Metal de transición esencial en bajas concentraciones para los organismos vivos, que participa en procesos enzimáticos y metabólicos; sin embargo, en concentraciones elevadas actúa como contaminante ambiental, especialmente en sistemas acuáticos, donde puede generar efectos tóxicos sobre la biota y alterar la calidad del agua.

- **Hierro**

Metal de transición ampliamente distribuido en la naturaleza, considerado un micronutriente esencial para los seres vivos; no obstante, su presencia en altas concentraciones en cuerpos de agua puede provocar alteraciones fisicoquímicas y efectos adversos en los organismos acuáticos

2.4. HIPÓTESIS

H₀ = Los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera No son eficientes en la remoción de metales pesados del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023

H_a = Los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera al menos alguno de ellos es eficiente en la remoción de metales pesados del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023

Hipótesis específicas

H₀ = Los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera no son eficientes en la remoción de sólidos totales en suspensión (STS), pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T°) del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023

H_a = Los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera al menos alguno de ellos es eficiente en la remoción de Sólidos totales en suspensión (STS), pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T°) del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023

H₀ = Los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera no son es eficiente en la remoción de metales pesados; Plomo (Pb), Cadmio (Cd), cobre (Cu) y hierro (Fe) del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023.

H_a = Los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera al menos alguno de ellos es eficiente en la remoción de sólidos totales en suspensión (STS), pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T°) del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023

H₀ = Las características físicos y químicos de las aguas del canal de riego del fundo Pacán no difieren de las bases teóricas.

H_a = Las características físicos y químicos de las aguas del canal de riego del fundo Pacán al menos alguno de ellos difiere de las bases teóricas.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

En el proyecto las variables independientes serán biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera.

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Se ha definido como variable dependiente a los parámetros físicos y parámetros químicos según los resultados que se obtendrán, se podrá determinar lo siguiente:

Tabla 5

Variable Dependiente

V. dependiente	Indicador
- Físicos	• Sólidos Totales • pH • Conductividad Eléctrica • Temperatura • Disipación de energía
- Químicos	• Plomo • Cadmio • Cobre • Hierro

Nota. Los indicadores se evalúan por laboratorio. Fuente: Adaptado de Huamán (2020).

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TÍTULO: Eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de metales pesados del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023.

TESISTA: Ferrua Quispe, Veronica Karina

Variabes	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad De medida	Instrumentos de investigación
Independiente - Los Biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera	Los biofiltros con residuos orgánicos son una alternativa eficiente para el tratamiento de sustancias contaminantes, por medio de procesos físicos, químicos y biológicos. Se constituyen por un lecho filtrante y un componente biótico (Buelna y Moeller, 2012).	Se usaron compuestos con celulosa, hemicelulosa y lignina y porosos como el aserrín, bagazo de caña y cascara de coco que sean eficientes en la remoción de fenoles, fluoruros, hierro, plomo y cromo (Perdomo et al., 2020)	Parámetros Físicos	Diámetro de partícula del material filtrante	Milímetro	Molino tipo martillo con malla cernidora de 1 a 2 milímetros de diámetro
				Tiempo de Filtración Porcentaje de Remoción	Minutos %	Filtro de PVC Fórmula Matemática $\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor Final}}{\text{Valor inicial}} \times 100$
Dependiente Parámetros físicos y parámetros químicos	Según el Ministerio del ambiente (2008), los parámetros fisicoquímicos indican la calidad del agua. Dentro de ellos se pueden descartar a los metales pesados Pb, Hg y, también el cadmio (Cd), que son tóxicos, provocan inhibición enzimática provocando directamente a los órganos celulares (Ferrer, 2003, p.4).	Mediante el equipo multiparámetro marca HANNA, modelo HI 2550, Mediante el equipo espectrofotómetro de absorción atómica cuyo principio es la calcinación.	Físicos	pH Conductividad eléctrica Solidos Totales Temperatura Solidos Totales	T°	Multiparámetro y Equipo Espectrofotómetro perteneciente al laboratorio de suelos
			Químicos	Plomo Cadmio Hierro Cobre	ppm	perteneciente a la facultad de agronomía de la UNAS.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se enmarcó en el tipo aplicativo, dado que estuvo orientado a la solución de problemas prácticos mediante la consolidación del conocimiento científico y la incorporación de la innovación. Este enfoque permitió generar aportes significativos aplicables al ámbito constructivo, conforme a lo señalado por Hernández (2010).

3.1.1. ENFOQUE

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que partió de una idea claramente definida, estableció hipótesis y determinó variables de manera secuencial y probatoria. Asimismo, utilizó la estadística para analizar y la medir como herramientas fundamentales para explicar y evaluar el fenómeno en estudio, de acuerdo con lo señalado por Hernández (2010).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El proyecto se enmarcó dentro del nivel explicativo–descriptivo, ya que buscó explicar la naturaleza del problema considerando la innovación técnica y, al mismo tiempo, especificar las propiedades y características a través del análisis del objeto de estudio, conforme a lo señalado por Hernández (2010).

3.1.3. DISEÑO

El diseño de investigación correspondió al experimental puro, ya que se manipuló intencionalmente la variable independiente del proyecto con el propósito de medir los efectos sobre la variable dependiente, de acuerdo con lo señalado por Hernández (2010). Para tal fin, se realizó completamente al azar (DCA), usando residuos orgánicos como filtros, los cuales se distribuyeron en tres tratamientos con tres repeticiones. Dicho diseño se muestra a continuación:

Tabla 6*Matriz experimental de los tratamientos y repeticiones*

Tipo de tratamiento	Cantidad de repeticiones
T1 = Bagazo de Caña	r1
	r2
	r3
T2 = Cascara de Coco	r1
	r2
	r3
T3= Aserrín de Madera	r1
	r2
	r3

Nota. La tabla 6, muestra la distribución de los tratamientos con sus respectivas repeticiones, donde T1= Tratamiento1, T2= Tratamiento 2, T3= Tratamiento 3; r1.....rn=repeticiones

a. Unidad experimental

La unidad experimental se constituyó por biofiltros elaborados con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera. Se consideraron tres tratamientos con tres repeticiones, lo que representó en su totalidad nueve unidades experimentales. Las unidades fueron construidas con material de PVC, de dimensión de 80 cm de largo y 10 cm de diámetro, conteniendo los respectivos materiales orgánicos.

b. Modelo de las observaciones

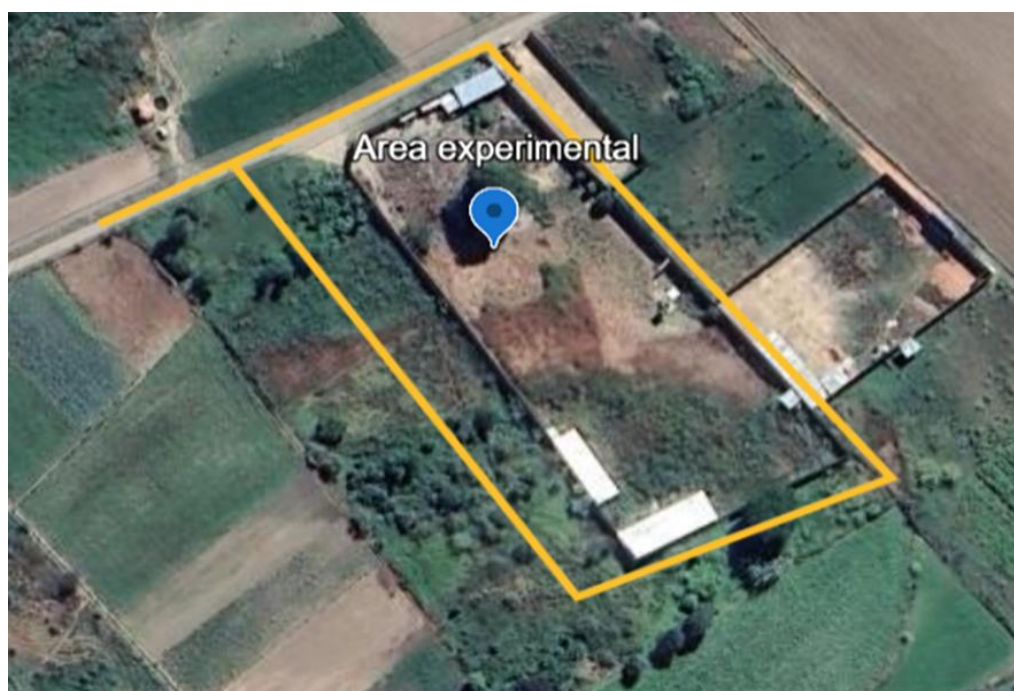
- $Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$
 - $i = 1, 2, 3$ tratamientos
 - $j = 1, 2, 3$ repeticiones
- **Dónde:**
 - Y_{ij} = observación en la j – e sima unidad experimental sujeto al i – e simo tratamiento.
 - μ = Media general de las observaciones
 - τ_i = Efecto del i -e simo tratamiento (Filtro orgánico)
 - E_{ij} = Error experimental.

c. Instalaciones

Se utilizó un área experimental de 20 m²; (5m de largo x 4m de ancho) ubicado en el distrito de Huánuco, centro poblado de Huachoc a 20 minutos aproximadamente de la ciudad de Huánuco.

Figura 1

Ubicación de lugar de la realización del proceso experimental



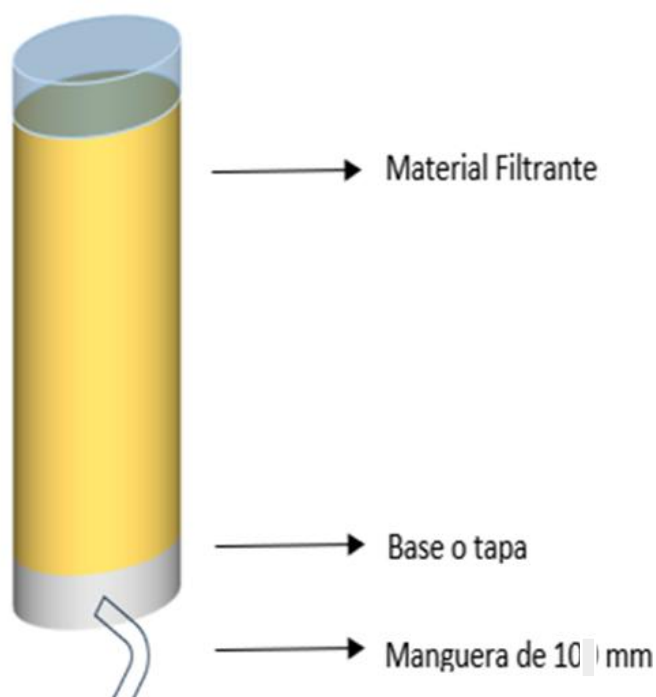
Nota. la Figura 1 muestra el área y la ubicación del proceso experimental del proyecto de investigación, con 9°52'21 S 76°11'22 W. Fuente: Google earth (2025)

d. Construcción de los Biofiltros

Los biofiltros fueron contruidos con material de Policloruro de Vinilo (PVC), cuyas medidas fueron de 80 cm de altura y un diámetro de 10 cm, se acondiciono una tapa en la parte superior para la retención del material filtrante y la vez esa misma tapa se perfora con una broca de 9 mm para la adaptación de una manguera de 10mm que permitiera la salida del material filtrante o efluente, el cual se detalla en la figura.

Figura 2

Esquema del biofiltro (Policloruro de Vinilo PVC)



Nota. La Figura 2 ilustra el diseño de un biofiltro de PVC. Fuente: Huamán (2020), adaptado de Brandão (2003).

e. Recolección y preparación de los residuos orgánicos

Los residuos orgánicos se recolectaron en el ámbito de la región de Huánuco; el bagazo de caña se recolectó del fundo Pacán y de lugares donde se comercializan jugo de caña de azúcar, la misma metodología para la cascara de coco; El aserrín de madera de las diferentes carpinterías que existe en la región Huánuco.

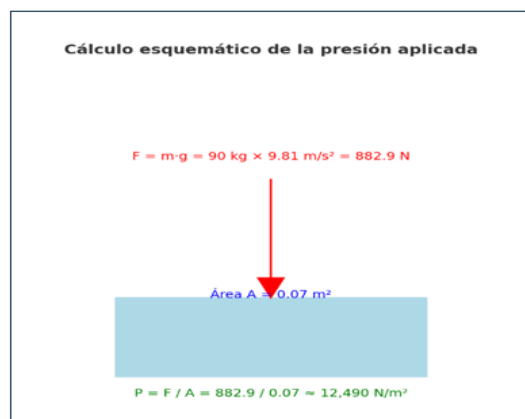
f. Preparación del filtro con desechos orgánicos

Los residuos orgánicos fueron sometidos a una molienda en un molinillo modelo martillo que tenía un tamiz de 2.0 mm donde se obtuvieron partículas que oscilaron de 0.5 hasta 2.8 mm, luego el material fue cernido por un tamiz con un diámetro de 0.5 mm aproximadamente para cernir los materiales previamente molidos para uniformizarlos e incluirlos al filtro de PVC.

Los residuos orgánicos se pesaron con una balanza digital y posteriormente vertidos en los filtros de PVC. Ayudados con la presión los dedos lo cual es aproximadamente de 12 490 N/m², valor que corresponde al esfuerzo generado por el peso de una persona de 90 kg sobre una superficie de 0.07 m². Esta simulación permitió compactar el material orgánico de manera uniforme dentro del biofiltro, garantizando la homogeneidad en la densidad aparente y evitando vacíos que pudieran alterar el flujo del agua. De acuerdo con Brandao (2003), este procedimiento es válido para representar condiciones de presión real en medios porosos, lo que otorga mayor confiabilidad a la caracterización experimental.

Figura 3

Cálculo de la presión calculada



g. Cálculo de la presión aplicada

La presión (P) se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

- **$P=F/A$**
- **Donde:**
 - P= presión (N/m² o Pa)
 - F= fuerza ejercida (N)
 - A= área de aplicación (m²)
- **Cálculo de la fuerza (peso de una persona de 90 kg):**
 - $F= m \cdot g$ (masa del objeto x aceleración de la gravedad)
 - $F= 90 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$
 - $F= 882.9 \text{ N}$

h. Área de aplicación estimada (planta del pie o presión con dedos):

- Para simular la presión puntual, Brandao (2003) considera un área reducida de contacto aproximada de:

$$A=0.07\text{m}^2$$

- **Cálculo de la presión aplicada:**

$$P=882.9/\text{N}$$

$$P\approx 12,613 \text{ N/m}^2 (\approx 12,490 \text{ N/m}^2)$$

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población se conformó por el total de agua que ingresa por el canal de riego del fundo Pacán, que son utilizadas para el riego de las plantaciones de caña de azúcar.

La población se define como el total de elementos ya sean personas, objetos o sucesos que presentan atributos similares y constituyen el núcleo de interés en un proceso investigativo, son el conjunto completo de todos los individuos, cosas o eventos sobre los que se quiere investigar (Triola, 2018)

3.2.2. MUESTRA

La muestra del agua para ser tratada se recolectó de 02 puntos específicos del ingreso del agua al canal de riego del fundo Pacán, para la recolección de la muestra se siguió todos los protocolos exigidos por el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobada con resolución de Jefatura N°010 – 2016 – ANA, se recolectó aproximadamente 200 litros de agua en cilindros de plástico.

Se realizó un muestreo aleatorio sistemático donde se recolectaron muestras de agua del canal de riego en puntos estratégicos (antes y después del biofiltro) siguiendo un intervalo fijo (ej. cada 50 metros), lo que permitió obtener una representación homogénea del agua

contaminada y evaluar la eficiencia del biofiltro en toda la extensión del canal

La muestra es un subconjunto representativo de la población, seleccionado mediante técnicas de muestreo para generalizar resultados, es la parte más pequeña de la población, utilizada para inferir características del todo (Hernández y Mendoza, 2018).

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. TÉCNICA

La técnica para la recolección de los datos de la muestra se utilizó el método observacional, inductivo y deductivo una vez puesto en funcionamiento el sistema de filtración.

3.3.2. INSTRUMENTOS

Se utilizó el espectrofotómetro de Absorción Atómica, multiparámetro, balanzas analíticas, fichas y formatos técnicos

Muestreo y análisis del agua

La toma de muestra del agua del fundo se realizó en una galonera con capacidad de 01 litro, el tiempo de filtración en cada biofiltro oscilo entre 45 minutos y 24 horas luego de poner en funcionamiento el sistema de filtración se recolectaron 09 muestras 03 del T1, tratamiento con bagazo de caña, 03 del T2 tratamiento con cascara de coco, 03 del tratamiento con aserrín de madera T3, y de la muestra del T0, testigo todas fueron recolectadas en envases de vidrio con capacidad de 250 ml, rotulada y sellada para su traslado y respectivo análisis en el laboratorio del área de suelos que pertenece a la facultad de agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Tras la obtención de los resultados generados por los equipos de laboratorio, se procedió a la construcción de una base de datos destinada al procesamiento y análisis correspondiente. Para validar la hipótesis planteada,

se aplicaron métodos matemáticos, utilizando como herramientas de apoyo el software MS Excel y el paquete estadístico InfoStat en su versión 2019.

Para la realización de la comparación de las medias de los tratamientos de los parámetros físicos y de los metales se utilizó Anova (análisis de varianza unidireccional o de un factor).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

De la remoción de los parámetros físicos y químicos de las aguas del canal de riego del fundo Pacán.

Tabla 7

Datos para el procesamiento de los parámetros físicos y de los metales pesados

Tratamientos	pH	CE d/Sm	T° °C	STD ppm	Pb ppm	Cd ppm	Fe ppm	Cu ppm
T1	4,04	2,62	28,0	1140.0	0,20	<VLD	0,90	0,060
T1	4,05	2,61	28,1	1135.0	0,20	<VLD	0,93	0,069
T1	4,03	2,63	28,2	1145.0	0,20	<VLD	0,87	0,051
T2	6,56	3,16	28,3	1600.0	0,40	<VLD	1,50	0,120
T2	6,59	3,22	28,4	1680.0	0,35	<VLD	1,60	0,110
T2	6,53	3,10	28,5	1520.0	0,45	<VLD	1,40	0,130
T3	6,97	0,358	28,6	179.00	0,30	<VLD	0,90	0,040
T3	7,19	0,36	28,7	186.00	0,28	<VLD	0,95	0,035
T3	6,75	0,356	28,8	172.00	0,32	<VLD	0,85	0,045

Nota. La tabla7 muestra los resultados de las variables de estudio según los tratamientos: T1: Bagazo de Caña: T2: Cascara de Coco, T3: Aserrín de Madera, para ser procesados teniendo a pH, CE: Conductividad Eléctrica, T°: Temperatura, STD: Solidos Totales Disueltos, Pb: Plomo, Cd: Cadmio, Fe: Hierro, Cu: Cobre

La tabla 7 muestra los valores obtenidos para el procesamiento y la interpretación de los resultados de cada variable físico y químico para hallar los valores descriptivos y su interpretación inferencial.

Tabla 8

Datos para el procesamiento de los parámetros físicos y del % de remoción

Tratamientos	pH	CE (d/Sm)	T° (°C)	STD (ppm)	% Remoción			
					pH	CE (d/Sm)	T° (°C)	STD (ppm)
T0	7.25	0.253	28	124				
T1	4.04	2.62	28	1140	42.27	-	-	-
T1	4.05	2.61	28.1	1135	44.13	-	-	-
T1	4.03	2.63	28.2	1145	44.41	-	-	-
T2	6.56	3.16	28.3	1600	10.51	-	-	-
T2	6.59	3.22	28.4	1680	9.10	-	-	-
T2	6.53	3.1	28.5	1520	9.93	-	-	-
T3	6.97	0.358	28.6	179	3.86	-	-	-
T3	7.19	0.36	28.7	186	0.82	-	-	-
T3	6.75	0.356	28.8	172	6.89	-	-	-

Nota. tabla 8 muestra los valores de las variables de estudio de los parámetros físicos, siendo T0= Tratamiento Testigo; T1= Bagazo de Caña; T2= Cascara de Coco; T3; Aserrín de madera. Así mismo se observa el porcentaje de remoción para la variable pH. No muestra % de remoción (-)

El tratamiento de control (T0) presenta un valor de pH de 7.25, mientras que los tratamientos con bagazo de caña (T1), cáscara de coco (T2) y aserrín de madera (T3) muestran variaciones en los valores de pH, siendo T₁ el que presenta la mayor reducción (hasta un 44.41 %), seguido por T₂ (máximo 10.50 %) y T₃ (máximo 8,69 %). En cuanto a los valores de CE, T°, y STD, se observa que estos parámetros no presentan porcentaje de remoción. La ausencia de valores de remoción para CE, T° y STD indica que estos factores no experimentaron porcentajes de remoción significativos tras la aplicación de los tratamientos.

De la remoción de los metales pesados de las aguas de riego del fundo Pacan

Tabla 9

Datos para el procesamiento de los metales pesados y del % de remoción

Tratamientos	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	% de Remoción			
					Pb (ppm)	Cd (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)
T0	<VLD	<VLD	0.3	<VLD				
T1	0.20	<VLD	0.90	0.06	-	-	-	-
T1	0.20	<VLD	0.93	0.069	-	-	-	-
T1	0.20	<VLD	0.87	0.051	-	-	-	-
T2	0.40	<VLD	1.50	0.120	-	-	-	-
T2	0.35	<VLD	1.60	0.110	-	-	-	-
T2	0.45	<VLD	1.40	0.13	-	-	-	-
T3	0.30	<VLD	0.90	0.040	-	-	-	-
T3	0.28	<VLD	0.95	0.035	-	-	-	-
T3	0.32	<VLD	0.85	0.045	-	-	-	-

Nota. tabla 9 muestra los valores de las variables de estudio de los metales pesados, siendo T0=Tratamiento Testigo; T1= Bagazo de Caña; T2= Cascara de Coco; T3; Aserrín de madera. Así mismo se observa el porcentaje de remoción para la variable pH. No muestra % de remoción (-). VLD=Valor no detectado en < al límite de detección

La Tabla 9 presenta los datos relacionados con la concentración de metales pesados (Pb, Cd, Fe y Cu) en el agua de riego del fundo Pacán tras la aplicación de los tratamientos. El tratamiento de control (T0) muestra concentraciones iniciales bajas de Pb (0,002 ppm), Cd (<VLD), Fe (0,3 ppm) y Cu (0,002 ppm). Tras la aplicación de los tratamientos con bagazo de caña (T1), cáscara de coco (T₂) y aserrín de madera (T₃), se observa un aumento en las concentraciones de Pb, Fe y Cu, mientras que el Cd permanece constante en 0.002 ppm en todos los tratamientos.

No se presentan valores de remoción en la tabla, lo que sugiere que los tratamientos no redujeron las concentraciones de los metales pesados analizados o que estos datos no fueron calculados en esta fase del estudio. Además, se observa una mayor acumulación de Fe y Cu en los tratamientos con cáscara de coco (T2), alcanzando hasta 1,60 ppm y 0,12 ppm, respectivamente.

Tabla 10

Resultados de los análisis descriptivos de los parámetros físicos y metales pesados

Tratamientos	Parámetros	Unidad de Medida	Media	Varianza	Desviación Estándar	Error Estándar
T1	pH	-	4.04	0.00	0.01	0.005
	CE	d/Sm	2.62	0.00	0.01	0.057
	T°	°C	28.0	0.01	0.10	0.060
	STD	ppm	1140	2,500.00	50.0	28.86
	Pb	ppm	0.200	0.00	0.00	0.00
	Cd	ppm	<VLD	0.00	0.00	0.00
	Fe	ppm	0.002	0.00	0.03	0.01
	Cu	ppm	0.002	0.00	0.01	0.01
T2	pH	-	6.56	0.01	0.03	0.01
	CE	d/Sm	3.16	0.04	0.06	0.034
	T°	°C	28.0	0.01	0.10	0.060
	STD	ppm	1600	640,000.00	800	461.88
	Pb	ppm	0.40	0.00	0.05	0.030
	Cd	ppm	0.002	0.0	0.00	0.000
	Fe	ppm	0.002	0.01	0.10	0.570
	Cu	ppm	0.002	0.0	0.01	0.005
T3	pH	-	6.97	0.05	0.22	1.120
	CE	d/Sm	0.358	0.00	0.002	0.000
	T°	°C	28.00	0.01	0.100	0.570
	STD	ppm	179.0	4900	700.0	40.41
	Pb	ppm	0.300	0.00	0.020	0.011
	Cd	ppm	<VLD	0.00	0.000	0.000
	Fe	ppm	0.900	0.00	0.050	0.020
	Cu	ppm	0.040	0.00	0.005	0.002

Nota. La tabla 10 muestra los resultados los valores del análisis estadístico descriptivo de las variables de estudio de los tratamientos: T1= Bagazo de Caña, T2= Cascara de coco, T3= Aserrín de Madera

La tabla 10 muestra los valores de los análisis descriptivos de cada variable de estudio post tratamiento; pH, CE: Conductividad Eléctrica, T°: Temperatura, STD: Solidos Totales Disueltos, Pb: Plomo, Cd: Cadmio, Fe: Hierro, Cu: Cobre, valores de la media, la varianza, la desviación típica y el error estándar, el cual indica la dispersión, variabilidad y el error de estimación de los datos con respecto a la media.

Tabla 11

Resultados de los valores medios de las variables de estudio

Tratamientos	pH	CE /d/Sm	T° °C	STD ppm	Pb ppm	Cd ppm	Fe ppm	Cu ppm
T1	4.04	2.62	28	1140	0.20	<VLD	0.002	0.002
T2	6.56	3.16	28	1600	0.40	<VLD	0.002	0.002
T3	6.97	0.358	28	179	0.30	<VLD	0.90	0.04

Nota. La tabla 11 muestra los resultados los valores de la media poblacional post tratamiento de las variables de estudio de cada tratamiento: T1= Bagazo de Caña, T2= Cascara de coco, T3= Aserrín de Madera, pH, CE: Conductividad Eléctrica, T°: Temperatura, STD: Solidos Totales Disueltos, Pb: Plomo, Cd: Cadmio, Fe: Hierro, Cu: Cobre

La tabla 11 se muestra los resultados de la media poblacional de cada variable, el T1: Bagazo de caña (BC); pH (4.04), CE (2.62 d/Sm), T° (28), STD (1140ppm), Pb(0.20), Cd(0.002), Fe (0.002), Cu (0.002); T2: Cascara de Coco: pH (6.56), CE (3.16 d/Sm), T° (28), STD (1600ppm), Pb(0.40), Cd(0.002), Fe (0.002), Cu (0.002); T3: Aserrín de madera: pH (6.97), CE (0.358 d/Sm), T° (28), STD (179ppm), Pb(0.30), Cd(0.002), Fe (0.90), Cu (0.04).

De la caracterización del agua de rio del canal del fundo Pacán

Tabla 12

Resultados de la caracterización de los parámetros físicos y de los metales pesados de canal del fundo Pacán

Tratamiento	pH	CE (d/Sm)	T° (°C)	STD (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)
Testigo	7.25	0.253	28	124	<VLD	<VLD	0.3	<VLD

Nota. La tabla muestra los resultados de los parámetros físicos y químicos de las variables de estudio del testigo (Agua de rio del canal del fundo Pacán)

La Tabla 12, se observa que el agua del canal del fundo Pacán presenta un pH de 7.25, dentro del rango aceptable de neutralidad, y una conductividad eléctrica baja (0.253 d/Sm), adecuada calidad para uso agrícola. La temperatura registrada (28 °C) se encuentra dentro de valores normales para aguas superficiales. Los sólidos totales disueltos (124 ppm) son inferiores al límite máximo permitido, lo que refleja baja salinidad. Los metales pesados, plomo, cadmio y cobre se reportan por debajo del límite de detección, mientras que el hierro (0.3 ppm) se encuentra en el límite permitido.

De la comparación de media de los parámetros físicos y los metales pesados

Tabla 13

Resultados del análisis estadístico de la comparación de medias de las variables de estudio

Material Filtrante	pH	CE (d/Sm)	T° (°C)	STD (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)
Testigo	7.25	0.253	28	124	<VLD	<VLD	0.3	<VLD
T1	4.04a	2.62a	28a	1140a	0.2a	0.002a	0.9a	0.06a
T2	6.56b	3.16b	28a	1600b	0.4b	0.002a	1.5a	0.12a
T3	6.97c	0.358c	28a	179c	0.3c	0.002a	0.9b	0.04b
P-Valor	<0.0001	0.0001	0.0004	0.0001	0.0007	0.0001	0.0001	0.0001

Nota. La tabla muestra los resultados de los análisis estadísticos de la comparación de medias de los tratamientos. T1 = Bagazo de Caña, T2= Cascara de Coco, T3= Aserrín de Madera Letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa según la prueba de Tuckey ($p<0.05$) y Prueba de Dunn ($p<0.05$) *Test de Kruskal Wallis-Prueba de Dunn.

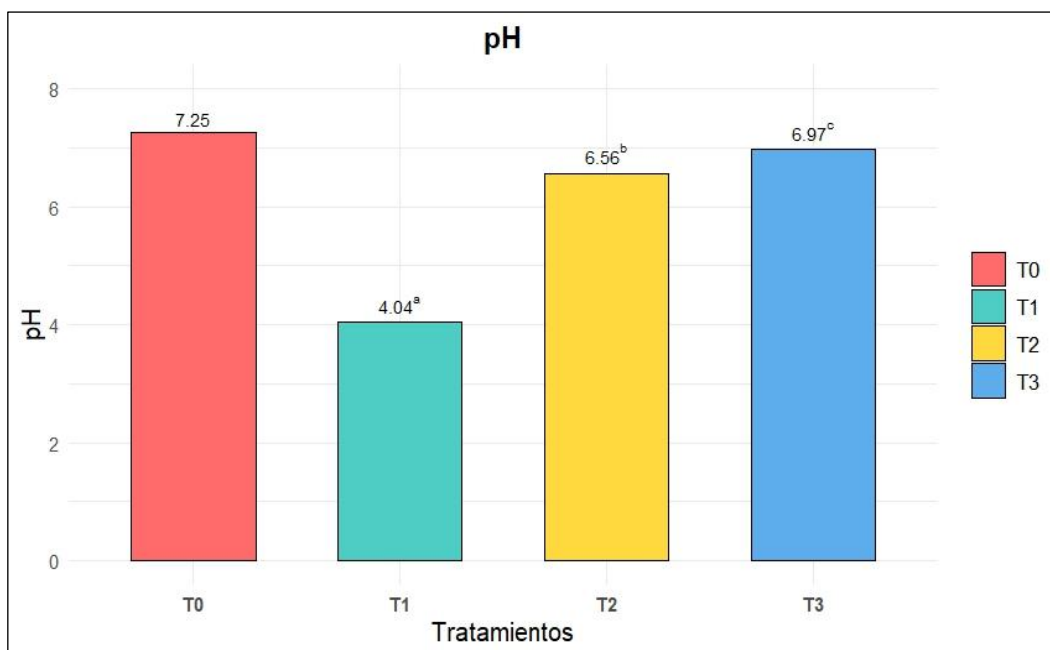
La tabla 13 muestra los resultados del análisis estadístico de la comparación de media de los tratamientos se observa la diferencia estadística que existe entre los tratamientos para el T1 = pH (4.04), CE (2.62 d/Sm), T° (28°C), STD (1140), Pb (0.002), Cd (0.002), Fe (0.9), Cu (0.06); T2= pH (6.56), CE (3.16 d/Sm), T° (28°C), STD (1600), Pb (0.4), Cd (0.002), Fe (1.5), Cu (0.12); T3= pH (6.97), CE (0.35 d/Sm), T° (28°C), STD (179), Pb (0.3), Cd (0.002), Fe (0.9), Cu (0.04).

Así mismo se observa los valores de las variables de estudio del testigo (Agua del canal del fundo Pacán) T0= pH (7.25), CE (0.253 d/Sm), T° (28°C), STD (124), Pb (0.002), Cd (0.002), Fe (0.3), Cu (0.002).

Del comportamiento del pH

Figura 4

Resultados del análisis estadístico del comportamiento del pH



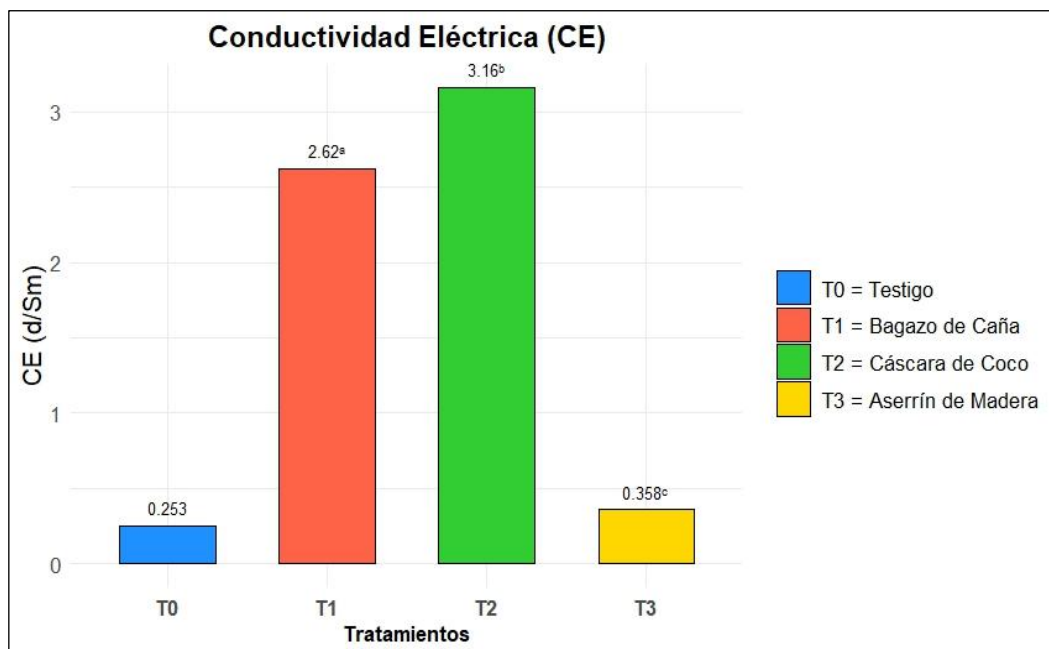
Nota. La figura 4, en gráfico de barras muestra los valores de los resultados del parámetro pH y los análisis estadísticos de la comparación de medias de los tratamientos. T₁ = Bagazo de Caña, T₂= Cáscara de Coco, T₃= Aserrín de Madera, para el parámetro de pH y en donde se observa la diferencia estadística que existe entre ellas ($p < 0.05$). Letras distintas muestran diferencia estadística entre los tratamientos.

El la figura 4 muestra el gráfico de barras de la comparación del pH antes y después de la filtración para los diferentes tratamientos. Se observa que el pH inicial es similar en los tres tratamientos (T₁ = Bagazo de Caña, T₂ = Cáscara de Coco, T₃, = Aserrín de Madera), con un valor de 7,25. Tras la filtración, se evidencia una disminución del pH en T₁ (4.04), mientras que en T₂ y T₃ se registran valores de 6.56 y 6.97, respectivamente. Estos resultados sugieren que el Bagazo de Caña tiene un mayor impacto en la reducción del pH en comparación con los otros materiales filtrantes. Así mismo se muestra la diferencia estadística que existe entre los tratamientos ($p < 0.05$).

Del comportamiento de la conductividad eléctrica (CE).

Figura 5

Resultados del análisis estadístico del comportamiento de (CE)



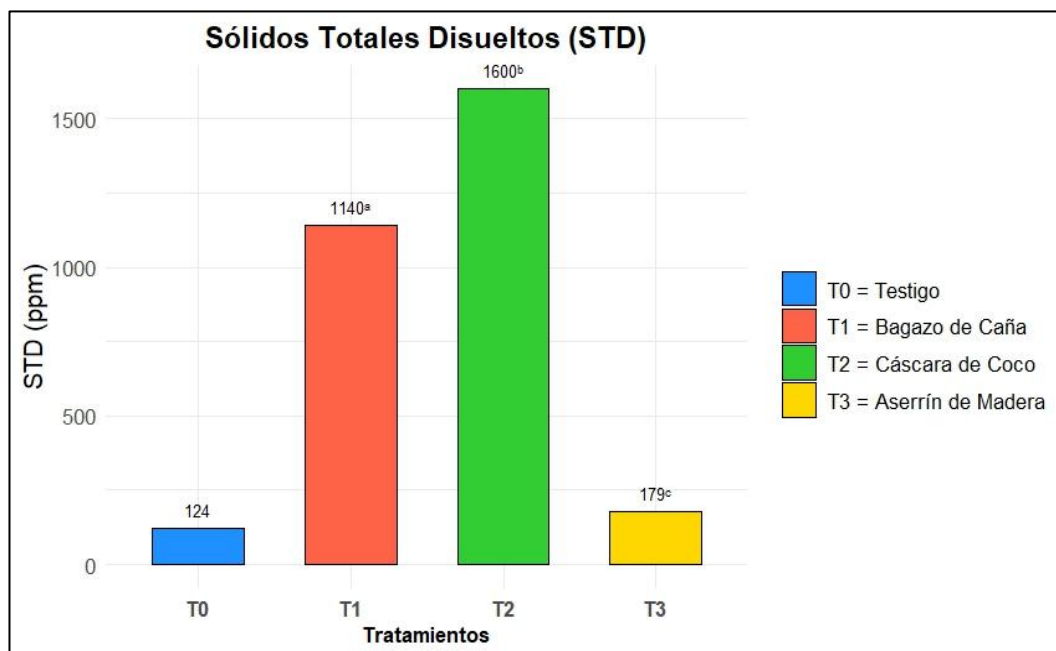
Nota. el grafico 5 muestra los resultados de los análisis estadísticos de la comparación de medias de los tratamientos. T0 = Testigo T1 = Bagazo de Caña, T2= Cascara de Coco, T3= Aserrín de Madera, para el parámetro de la conductividad eléctrica.

La figura 5, muestra el gráfico de barras, la comparación de la conductividad eléctrica (CE) antes y después de la filtración en los distintos tratamientos. Antes de la filtración, la CE en el testigo era de 0,25 d/Sm. Tras la filtración, la CE aumentó en todos los tratamientos, alcanzando 2,62 d/Sm en T1 (Bagazo de Caña), 3,16 d/Sm en T2 (Cáscara de Coco) y 0,36 d/Sm en T3 (Aserrín de madera) incremento de materiales. Estos resultados indican que los materiales filtrantes incrementaron la conductividad eléctrica del agua.

Del comportamiento de los Solidos Totales Disueltos (STD).

Figura 6

Resultados del análisis estadístico del comportamiento de los Solidos Totales Disueltos (STD)



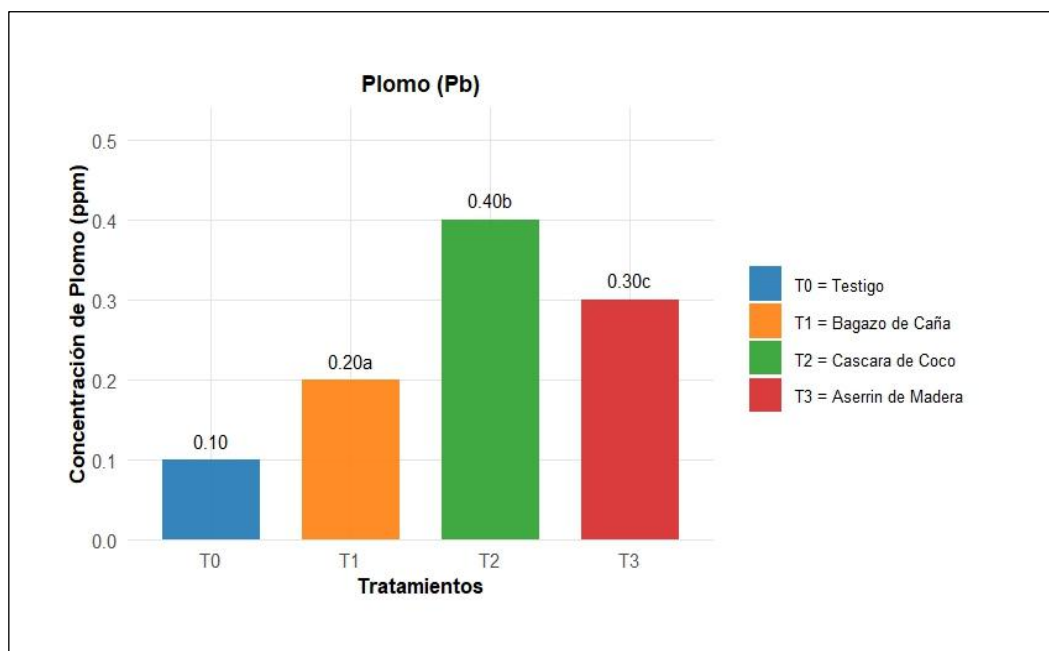
Nota. El grafico 6 muestra los resultados de los análisis estadísticos de la comparación de medias de los tratamientos. T0 = Testigo T1 = Bagazo de Caña, T2= Cascara de Coco, T3= Aserrín de Madera, para el parámetro de los sólidos totales disueltos (STD), Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < .05$).

La figura 6, presenta la comparación de media de los tratamientos respecto a los sólidos totales disueltos (STD) en ppm. Se analizaron tres materiales filtrantes: aserrín de madera, bagazo de caña y cáscara de coco. Los valores en azul representan los niveles de STD antes de la filtración, mientras que los valores en naranja corresponden a los niveles posteriores a la filtración. se observa que el aserrín de madera presentó un aumento a 179.00 ppm (a), el bagazo de caña incrementó significativamente los STD a 1140.00 ppm (b), y la cáscara de coco alcanzó el mayor valor con 1600.00 ppm (c).

Del comportamiento del plomo (Pb)

Figura 7

Resultados del análisis estadístico del comportamiento de los Solidos Totales Disueltos (STD)



Nota. La figura 7, muestra los resultados de los análisis estadísticos de la comparación de medias de los tratamientos. T0 = Testigo T1 = Bagazo de Caña, T2= Cascara de Coco, T3= Aserrín de Madera, para el parámetro de Plomo (Pb). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < .05$). T0= (DVL)

La figura 7, muestra el valor inicial del contenido de plomo en el agua del canal del fundo Pacán en el T0= 0.10 valores por debajo de (DVL) LMP de los estándares de calidad ambiental del agua (ECA) N° 003-2017-MINAM, así mismo se observa que el tratamiento T0 (testigo) mostró la menor concentración de plomo (0.10 ppm), mientras que los tratamientos con materiales orgánicos presentaron incrementos notables: T1 (0.20 ppm), T2 (0.40 ppm) y T3 (0.30 ppm). Este comportamiento indica que los materiales filtrantes empleados no redujeron la concentración del metal, sino que favorecieron un aumento en la presencia de plomo en el agua tratada.

Además, las letras sobrescritas (a, b, c) reflejan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, lo que confirma que la naturaleza del material filtrante influyó de manera distinta en la concentración final del metal.

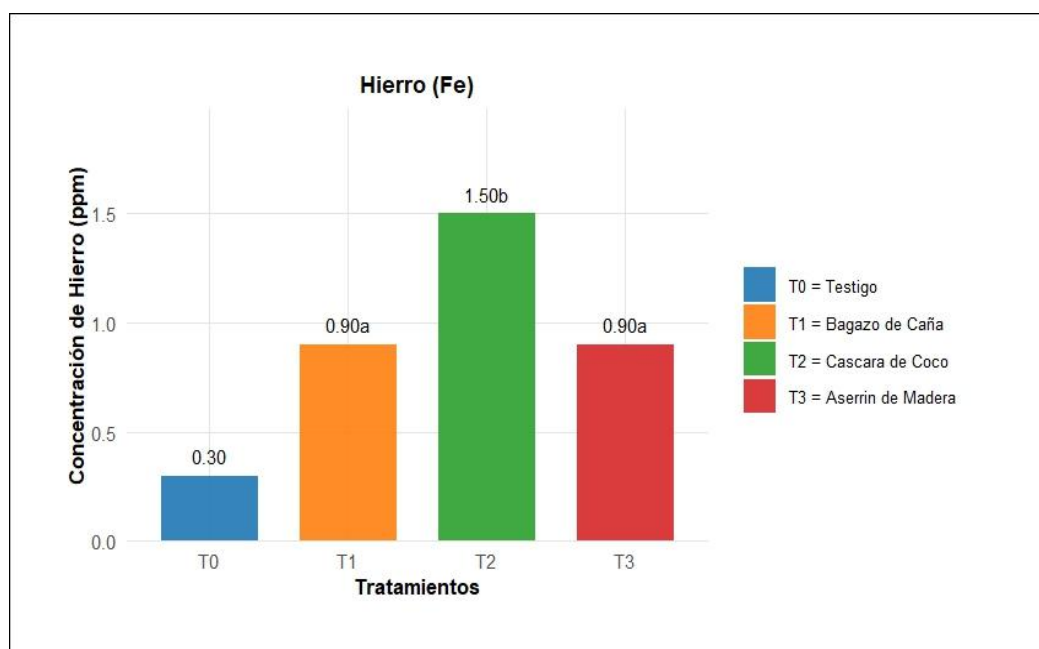
En particular, la cáscara de coco (T2) mostró la mayor concentración de plomo (0.40 ppm), lo que podría atribuirse a la liberación o desorción de compuestos metálicos presentes en el propio material o a la afinidad química entre el plomo y los componentes orgánicos de la biomasa utilizada.

En general, los resultados sugieren que, lejos de actuar como agentes de remoción, los materiales orgánicos podrían haber contribuido al aumento del contenido de plomo en el agua, posiblemente por procesos de lixiviación o intercambio iónico desfavorable

Del comportamiento del Hierro (Fe)

Figura 8

Resultados del análisis estadístico del comportamiento del Hierro (Fe)



Nota. La figura 8, muestra los resultados de los análisis estadísticos de la comparación de medias de los tratamientos. T0 = Testigo T1 = Bagazo de Caña, T2= Cascara de Coco, T3= Aserrín de Madera, para el parámetro de Hierro (Fe)

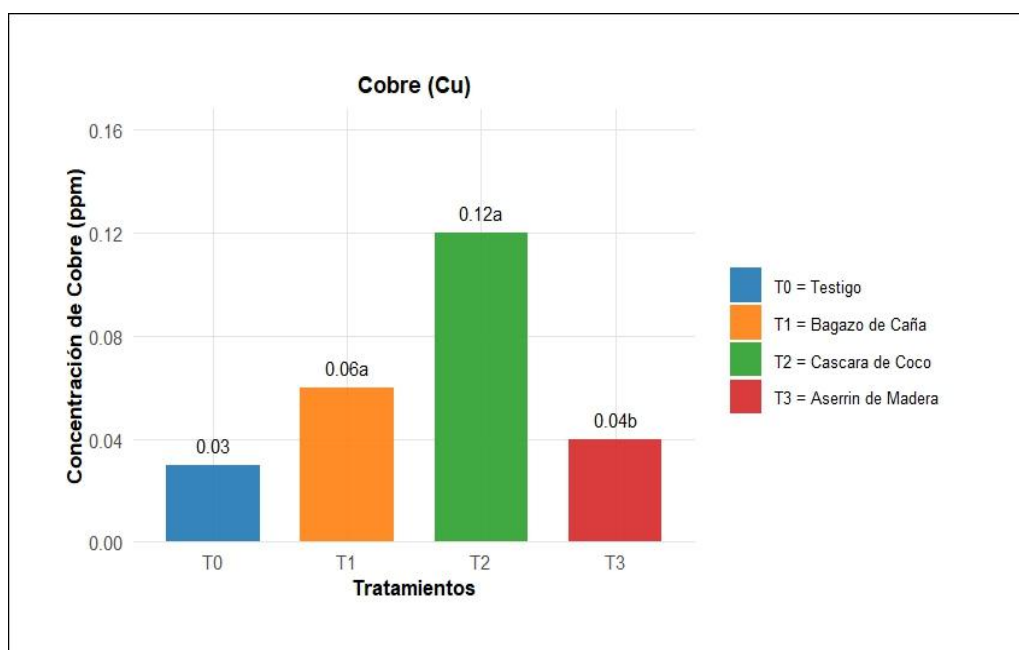
La figura 8, muestra los valores del comportamiento del Hierro (Fe) en donde el T1 obtuvo un valor de 0.90 ppm después del tratamiento, T2 (1.50) y T3 (0.90), con respecto al valor inicial de 0.30 ppm, así mismo la tabla no muestra porcentaje de remoción sin embargo muestra diferencia estadística significativa $p < 0.05$ para los tratamientos T1 y T3, T2 y T3, no existe diferencia estadística significativa entre el tratamiento T1 y T2. Aunque no se presentan porcentajes de remoción o incremento, los datos reflejan que los tratamientos

orgánicos aumentaron la concentración de hierro respecto al testigo. En particular, la cáscara de coco (T2) promovió la mayor acumulación del elemento, posiblemente debido a su composición química o capacidad de retención metálica.

Del comportamiento del cobre (Cu)

Figura 9

Resultados del análisis estadístico del comportamiento del Cobre (Cu), Antes y Post Filtración



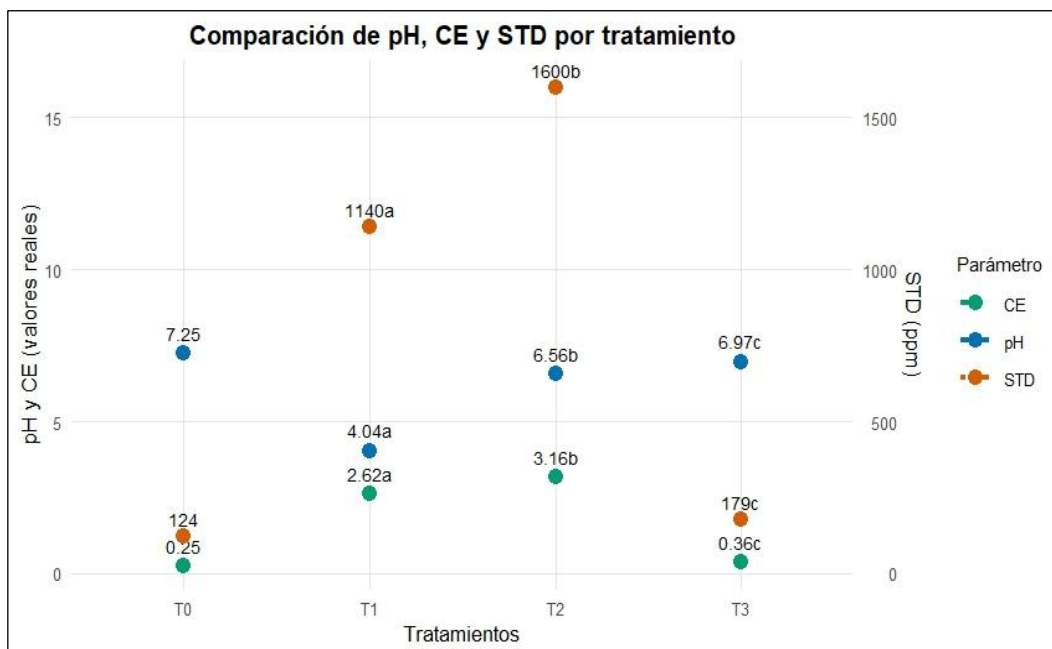
Nota. La figura 9, muestra los resultados de los análisis estadísticos de la comparación de medias de los tratamientos. T0 = Testigo T1 = Bagazo de Caña, T2= Cáscara de Coco, T3= Aserrín de Madera, para el parámetro de Cobre (Cu). T0= (DVL)

La figura 9, presenta la comparación de media de los tratamientos respecto a la concentración de cobre (Cu) en mg/L antes y después de la filtración. Se observa que la cáscara de coco presentó la mayor concentración de cobre después del tratamiento con 0.120 mg/L, seguida del bagazo de caña con 0.060 mg/L y el aserrín de madera con 0.040 mg/L. Estos resultados indican que los materiales utilizados pueden influir en la concentración de cobre en el agua tras la filtración.

Del comportamiento de los parámetros físicos pre y post filtración

Figura 10

Resultados del análisis estadístico del comportamiento de los parámetros físicos



Nota. La figura 10, muestra los resultados de la comparación de medias de los tratamientos. T0 = Testigo T1 = Bagazo de Caña, T2= Cascara de Coco, T3= Aserrín de Madera, antes y después de la filtración.

La Figura 10 muestra el comportamiento de los parámetros físicos antes y después de los tratamientos T0, T1, T2 y T3. Los valores registrados fueron los siguientes: para el pH, 7.25, 4.04, 6.56 y 6.97; para la conductividad eléctrica (CE), 0.253 d/Sm, 2.62 d/Sm, 3.16 d/Sm y 0.358 d/Sm; y para los sólidos totales disueltos (STD), 124 ppm, 1140 ppm, 1600 ppm y 179 ppm, respectivamente. La temperatura se mantuvo constante en 28 °C durante el análisis. Asimismo, se presenta la comparación de los valores medios de pH, CE y STD obtenidos en los distintos tratamientos. El tratamiento T0 (testigo) presentó un pH de 7.25, una CE de 0.5 d/Sm y un STD de 124 $\mu\text{S}/\text{cm}$, evidenciando condiciones neutras y baja concentración de sales disueltas. En el tratamiento T1 (bagazo de caña), el pH disminuyó a 2.62, mientras que la CE aumentó a 4.04 d/Sm y el STD alcanzó 1140 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que sugiere una mayor liberación de compuestos solubles. Por su parte, el tratamiento T2 (cáscara de coco) mostró un pH de 3.16, una CE de 6.56 d/Sm y el valor más alto de STD (1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$), indicando una elevada presencia de sólidos

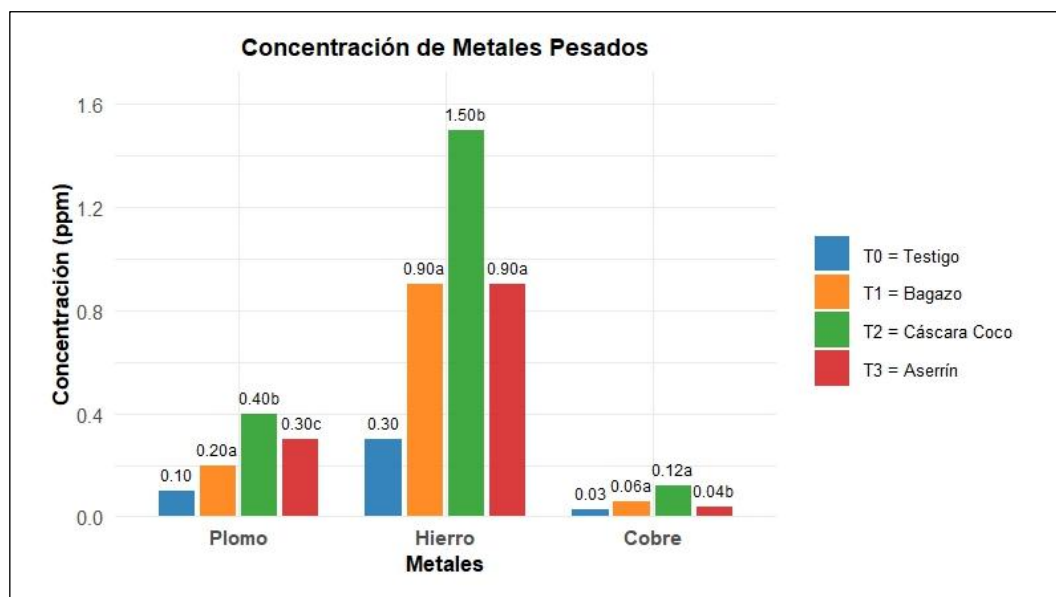
disueltos. Finalmente, el tratamiento T3 (aserrín de madera) registró un pH de 0.36, una CE de 6.97 d/Sm y un STD de 179 μ S/cm, caracterizándose por una marcada acidez y una menor concentración de sólidos disueltos respecto a T1 y T2.

En la figura también se evidencia la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, señaladas mediante letras (a, b, c) sobre los valores. Estas diferencias indican que los materiales filtrantes ejercen efectos distintos sobre los parámetros físico-químicos analizados. En términos generales, los resultados sugieren que los tratamientos con materiales orgánicos modifican significativamente las propiedades del agua, especialmente en los valores de pH y STD, en comparación con el testigo. Dichas variaciones podrían estar relacionadas con la composición química, la porosidad y la capacidad de intercambio iónico de cada material empleado en la filtración.

Del comportamiento de los metales pesados

Figura 11

Resultados del análisis estadístico del comportamiento de los metales pesados Antes y Post Filtración



Nota. La figura 11, muestra los resultados de la comparación de medias de los metales pesados. T0 = Testigo T1 = Bagazo de Caña, T2= Cascara de Coco, T3= Aserrín de Madera, antes y después de la filtración.

La figura 11, presenta los valores promedio de concentración de plomo (Pb), hierro (Fe), cobre (Cu) y cadmio (Cd) en las muestras tratadas mediante biofiltros elaborados a partir de residuos orgánicos: bagazo de caña (T1), cáscara de coco (T2) y aserrín de madera (T3), en comparación con el tratamiento testigo (T0). Plomo (Pb), se observaron las siguientes concentraciones: T0 = 0.10 ppm, (<VLD) T1 = 0.20 ppm, T2 = 0.40 ppm y T3 = 0.30 ppm. El análisis estadístico indicó diferencias significativas entre los tratamientos, donde T2 presentó la mayor concentración (letra c), seguido de T3 (b) y T1 (a), siendo T0 el valor de referencia más bajo. Estos resultados muestran que la cáscara de coco no cumplió una función de retención de plomo, sino que podría haber liberado este metal al sistema. En el caso del hierro (Fe), las concentraciones registradas fueron: T0 = 0.30 ppm, T1 = 0.90 ppm, T2 = 1.50 ppm y T3 = 0.90 ppm. El tratamiento con cáscara de coco (T2) presentó una diferencia estadísticamente significativa (letra b) respecto a los tratamientos T1 y T3 (ambos con letra a), lo que evidencia que este material

promovió una mayor concentración de hierro en el agua filtrada, posiblemente por procesos de lixiviación o descomposición del material orgánico. Cobre (Cu), reporto las siguientes concentraciones: T0 = 0.03 ppm, T1 = 0.06 ppm, T2 = 0.12 ppm y T3 = 0.04 ppm. El tratamiento T2 mostró el mayor valor y difirió estadísticamente de T0 y T3, según las letras asignadas (a, b), lo que refuerza la tendencia de este biofiltro a incrementar la carga metálica en el efluente.

En cuanto al cadmio (Cd), en todos los tratamientos (T0, T1, T2 y T3), las concentraciones se encontraron por debajo del límite de detección (<VLD) del método analítico empleado. Esto indica que, bajo las condiciones del presente estudio, no se detectaron niveles cuantificables de cadmio en el canal de riego ni en el agua tratada, y, por tanto, este metal no representó un riesgo ambiental en el contexto analizado. Los resultados dejan en evidencia que los biofiltros evaluados no mostraron eficiencia en la remoción de los metales pesados Pb, Fe y Cu. Particularmente, el tratamiento T2 (cáscara de coco) mostró un comportamiento desfavorable al aumentar significativamente la concentración de todos los metales analizados. Las diferencias estadísticas, representadas por letras distintas sobre las barras (prueba de Tukey, $p < .05$), evidencian que el tipo de residuo orgánico influye significativamente en la dinámica de los metales pesados en el agua tratada.

4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

La investigación tuvo un nivel de significancia de 5%, procesados con funciones de análisis Excel y el software IBM SPSS Statistics 27.0.1, Se compararon las medias con ANOVA de un factor junto con la prueba Tukey y Duncan. La hipótesis general planteada fue:

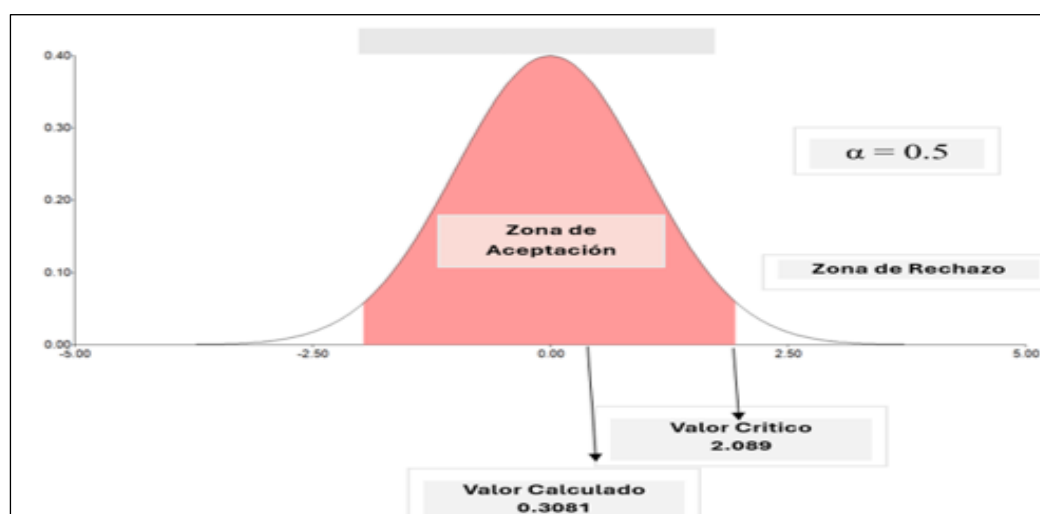
H₀ = Los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera No son eficientes en la remoción de metales pesados del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023.

H_a = Los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera al menos alguno de ellos es eficiente en la remoción de metales pesados del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023.

Las variables de estudio que mostraron diferencia estadística significativa entre los tratamientos fueron: pH, CE, STD, Pb, Cd, Fe, Cu.

Figura 12

Resultados de la prueba de hipótesis de las variables de estudio



Nota. La figura muestra la contrastación de la hipótesis general en la campana de Gauss.

En la figura 12 se observa la campana de Gauss bilateral de acuerdo con la hipótesis planteada con un nivel de significancia del 5% el valor calculado es menor que el valor crítico, encontrándose la hipótesis nula en la zona de aceptación por lo tanto estadísticamente los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera No son eficientes en la remoción de metales pesados del origen de riego del fundo Pacán.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los parámetros físicos del canal de riego del fundo Pacán:

Los resultados nos muestran que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos para los parámetros de pH, Conductividad eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD), con respecto al testigo (T0), el valor del pH del tratamiento con bagazo de caña tuvo una tendencia de volverse ácido bajando su valor en 55% la cascara de coco y aserrín de madera en 10 % y 9.5% respectivamente, los valores del pH disminuyen porque existe la presencia de iones de hidrógeno en el medio volviéndolos más básicos (Osorio, 2012). La presencia de un cuerpo ácido reduce el pH y la presencia de un cuerpo básico aumenta el pH, los cuerpos ácidos liberan iones de hidrógeno en contacto con el agua (H) mientras que los básicos aceptan (Carbotecina, 2023).

La conductividad eléctrica (CE) con respecto al testigo aumento en el tratamiento (T1) y en tratamiento (T2) en más del 100% con respecto de su valor inicial a diferencia del (T3) que subió su valor en un 41%, la conductividad eléctrica, temperatura y el pH están relacionados, la conductividad eléctrica está relacionada con la concentración de las sales en disolución que al disociarse generan iones que son capaces de transportar la corriente eléctrica (Solís-Castro et al., 2018).

Los residuos orgánicos de los tratamientos fueron sometidos a procesos de secado y molienda y en su estructura contienen minerales que al ponerse en contacto con el agua hacen que estas se disuelvan y estas aumenten las sales en el contenido líquido aumentando la conductividad eléctrica tal como lo manifiesta (Sepúlveda y Cárdenas, 2012), cuando existe una mayor concentración de sales entonces aumenta la conductividad eléctrica.

Los sólidos totales disueltos (STD), de los tratamientos aumentaron su valor con respecto al valor inicial esto se debe a la presencia de sales inorgánicas presentes en los materiales orgánicos como es calcio, sodio, magnesio potasio, bicarbonatos cloruros y sulfatos, tal como lo manifiesta

Solís-Castro et al. (2018), el parámetro determinante para la calidad del agua son los sólidos totales disueltos (STD) ya que en ellas predomina la concentración de especies iónicas

De los metales pesados del canal de riego del fundo Pacán

Los metales pesados muestran un comportamiento estadísticamente significativo después del tratamiento; los valores del plomo (Pb), cadmio (Cd). Hierro (Fe) y Cobre (Cu) aumentaron sus valores con respecto al tratamiento testigo (T0); el tratamiento con bagazo de caña aumento su valor para el parámetro de Plomo (Pb), Hierro (Fe) y Cobre (Cu) en más del 100% en el caso de Cadmio (Cd) no hubo cambio con respecto a su valor inicial, el mismo comportamiento tuvieron los tratamientos T2 (Cascara de coco) y T3 (Aserrín de madera). La contaminación del plomo y metales pesados a menudo provienen de la suciedad, suelo, agua y aire (Rivera y Moccetti, 2018).

Los niveles de los metales pesados del testigo (T0) se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles de los estándares de calidad del agua (ECA), (< 0.002). Teóricamente la presencia de los metales pesados y oligoelementos en los ríos principalmente ocurre cuando se da el proceso de lixiviación del suelo al río, estos metales muestran sus valores más elevados en época seca.

En época de lluvia sus valores disminuyen o muestran valores por debajo de los límites permisibles, debido a que cuando aumenta el volumen del agua ocurre el proceso de biorremediación o simplemente estas tienden a esparcirse a distancias mayores por la velocidad y aumento del caudal, tal como lo demuestra (Arce y Calderón, 2017), quienes reportaron valores de la presencia del plomo en época de lluvia un promedio 5,347mg/Kg y en época de lluvia promedio de 5,040 mg/Kg en las aguas del río Mantaro.

Llanos (2023) reporto valores de la presencia de metales pesados en época seca de las aguas de los ríos Huallaga; Pallanchacra, San Rafael, Blanco, Huertas, Huancachupa, higuera y Churubamba, río higuera y Río Huallaga quien reporto el valor más alto en presencia de plomo (Pb) 0.09 mg/L; en promedio se obtuvo los siguientes valores; Cadmio (Cd) 0.0035 mg/L, Plomo (Pb): 0.07mg/L, Cobre (Cu): 1.77mg/L

Se han reportado altos contenidos de plomo (Pb), Cadmio (Cd) y mercurio (Mg) en los ríos altoandinos donde existe la presencia de actividades mineras y de la industria de la construcción, estos contenidos fueron evaluados en época seca con respecto a la estación de año (Santos et al., 2018).

La presencia de los metales pesados Plomo (Pb), Hierro (Fe) y Cobre (Cu) en el efluente se debe básicamente al contacto que tuvo con los materiales orgánicos y la contaminación de estos se da por el medio ambiente, principalmente el aire mediante los procesos de adsorción, absorción, difusión pasiva o transporte activo (Weltman et al., 2008). Los materiales orgánicos fueron seleccionados de negocios e industrias, también sufrieron moliendas en maquinarias industriales expuestas al humo del parque automotriz y combustibles industriales que contaminaron su estructura, como lo indica (Tejada, 2014), los metales pesados especialmente el plomo se encuentra en el medio ambiente y esta proviene y su contaminación es proveniente de la actividad automotriz en el ámbito urbano.

CONCLUSIONES

Al finalizar el presente trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

- Los parámetros físicos del agua del canal de riego del fundo Pacán, aumentaron sus valores post tratamiento con bagazo de caña (BC), cascara de coco (CC) y aserrín de madera (AM), para conductividad eléctrica (CE), Sólidos totales disueltos (STD) a diferencia del parámetro de pH que redujo sus valores con respecto al testigo.
- Los valores de los metales pesados del canal de riego del fundo Pacán; plomo (Pb), Cadmio (Cd) Hierro (Fe) y Cobre (Cu), se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles exigidos por los estándares de calidad ambiental de la normatividad peruana.
- La presencia de los metales pesados en las aguas de los ríos, quebradas y humedales se debe a la época del año en épocas de lluvia sus valores tienden a reducirse y por lo tanto muestran valores por debajo de los límites máximos permisibles.
- Los biofiltros orgánicos no son eficientes en el tratamiento de los parámetros físicos pH, Conductividad Eléctrica (CE), sólidos totales disueltos (STD) de las aguas del canal de riego del fundo Pacán.
- Los biofiltros orgánicos no son eficientes en el tratamiento de los metales pesados cadmio (Cd), plomo (Pb), hierro (Fe) y cobre (Cu) del canal de riego del fundo Pacán.

RECOMENDACIONES

- Realizar un pretratamiento de los materiales (lavado, desinfección o activación química) para eliminar contaminantes residuales o compuestos solubles que contribuyan a la lixiviación de metales, esto reduciría la liberación de iones al agua durante la filtración, dado que los tratamientos aumentaron la concentración de metales pesados (Pb, Fe, Cu) y parámetros como STD y CE.
- Caracterizar químicamente los materiales antes de su uso, asegurando que cumplan con estándares de calidad para evitar introducir contaminantes al agua, porque están expuestos a humos vehiculares y procesos industriales.
- Diseñar biofiltros multicapa que integren los materiales estudiados con otros adsorbentes naturales (carbón activado, zeolitas o arcillas), los cuales han demostrado eficacia en la retención de metales pesados en estudios previos.
- Se recomienda realizar estudios complementarios durante diferentes épocas del año, especialmente en época seca y lluviosa, con la finalidad de analizar el efecto de la estacionalidad sobre la concentración de metales pesados y los parámetros físicos del agua.
- Implementar un programa de monitoreo continuo y estacional del agua del río Huallaga, con énfasis en la época de lluvias, debido a que en este período se incrementan significativamente parámetros como metales pesados, sólidos suspendidos y conductividad eléctrica, este fenómeno está asociado a factores antropogénicos (actividad minera, vertidos industriales) y naturales (erosión de suelos por precipitaciones intensas, deslizamientos o inundaciones).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, C. (2015). Suelos contaminados con plomo en la Ciudad de La Oroya Junín y su impacto en las aguas del Río Mantaro. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. p. 70.
- Alarcón, G. (2006). Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. parte i: características físicas. Facultad de Engenharia Mecânica-FEM, Universidad e Estadual de Campinas-UNICAMP, Campinas, SP, Brasil10.
- Ambiente, R. (2018). Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad (América Latina). <https://ambiente-sustentabilidad.org/index.php/revista/article/view/93>
- Arbeláez - Bermúdez, K. (2017) Análisis de impacto ambiental y social de la planta de tratamiento de aguas residuales barra da Tijuca en Brasil como lecciones aprendidas para la ciudad de Bogotá DC. universidad católica de Colombia facultad de ingeniería programa de ingeniería civil Bogotá
- Arce, S., Y Calderón, M. (2017). Suelos contaminados con plomo en la Ciudad de La Oroya- Junín y su impacto en las aguas del Río Mantaro. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 20(40), Article 40. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v20i40.14389>
- Bustamante-González, Á., Galindo-De Jesús, G., Jaramillo-Villanueva, J. L., & Vargas-López, S. (2016). Percepción de la contaminación del río Tlapaneco por la población ribereña. Agricultura Sociedad y Desarrollo, 13(1), 47. <https://doi.org/10.22231/asyd.v13i1.278>
- Calzada, W., Ponce, S., de Pasco, C., Bravo, T., Atencio, E., No, A. S. B., Bolívar, S., Bianchini, F., Grassi, L., y Ruschi, V. (2021.). Estudios en poblaciones afectadas por metales pesados en pasco.

- Clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales (2022.). Recuperado 13 de marzo de 2022, de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/clasificacion_de_cuerpos_de_agua_continental_parte_1.pdf.
- Cusiche F., y Miranda A. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín', Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1433-1447. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1870>
- Custodio, M., Cuadrado, W., Peñaloza, R., Montalvo, R., Ochoa, S., y Quispe, J. (2020). Riesgo humano por exposición a metales pesados y arsénico en agua de ríos con influencia minera en los Andes centrales del Perú. *Agua*. <https://doi.org/10.3390/w12071946>.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura.
- Escobar, M. (2020). Análisis de la implementación de biofiltros para el tratamiento de lixiviados generados en unidades de compostaje: Revisión de Literatura. 30.
- Estrada, C., Rico, R., Aloma, I., y Cortés, Y. C. (2018). potencialidades del uso del aserrín de madera de pino como biosorbente. *potential use of pine sawdust as biosorbente*. p.9.
- Félix, Q., Paredes, B., Sánchez, C., y Arévalo, H. (2022). La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria* sp. Cv. Camarosa).
- Fernández, P., & López, M. (2023). Biofiltration processes and their efficiency in wastewater management. *Journal of Environmental Engineering*, 45(3), 215-230. <https://doi.org/10.1234/jee.2023.45.3.215>

- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. Anales del Sistema Sanitario de Navarra, 26. <https://doi.org/10.4321/S1137-66272003000200008>.
- Fuentes. M. (2017). Adsorción de plomo (II) en solución acuosa con tallos y hojas de *Eichhornia crassipes*. Universidad de La Guajira, Vizcaíno Mendoza Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica, 20(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.400>
- Gamarra, A. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú. Arnaldoa, 25(1), 179-194. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25111>
- García, B., Rico, R., Pérez, P., y López, G. (2015). utilización del bagazo de caña, en la adsorción de iones Cr^{3+} . estudios preliminares. p.2.
- Garzón-Zúñiga, A., Buelna, G., y Moeller-Chávez, E. (2012). La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. p.9.
- Gómez-Duarte, O. (2018). Contaminación de agua en países de bajos y medianos recursos es un problema de salud pública global. Revista de la Facultad de Medicina, 66(1), 7-8. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>
- Gonzales, F., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Naeher, L., Levy, K., y Steenland, K. (2014). Contaminación ambiental, variabilidad y cambio climáticos: Una revisión del impacto en la salud de la población peruana. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 31(3), 547-556.
- González, R., Martínez, J., & Ramírez, P. (2023). Physical and chemical factors affecting heavy metal removal in biofilters. Water Research, 213, 118247. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118247>
- Granja, L. (2006). El valor del agua en la agricultura. 5. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.

- Huamán, C. (2018). Uso de materiales orgánicos como filtros en el tratamiento de aguas residuales provenientes de granjas porcícolas. Recuperado 13 de marzo de 2022, de https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1498/CEHC_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Junta Americana de Agricultura (2013). Encuentro de ministros de agricultura de las américas. Recuperado 14 de marzo de 2022, de <https://www.redinnovagro.in/documentosinnov/agua,alimento.pdf>
- Laino-Guanes, M., Bello-Mendoza, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Jiménez-Otárola, F., & Musálem-Castillejos, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y Ciencias del Agua*.
- Lannacone, J., y Alvariño, L. (2005). Efecto Eco toxicológico de tres Metales Pesados Sobre el Crecimiento Radicular de Cuatro Plantas Vasculares. *Agricultura Técnica*, 65(2). <https://doi.org/10.4067/S0365-28072005000200009>
- López, D., Pérez, S., & Torres, G. (2023). The role of pH in microbial activity in biofiltration systems. *Journal of Environmental Management*, 312, 114919. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114919>
- Manuel, Z., y Agustina, R. (2019). Contaminación por metales pesados de la microcuenca del río alto Huallaga y suelos agrícolas del área de influencia en Huánuco - 2022 línea de investigación: medio ambiente.
- Mao, Y., Wang, J., & Zhang, H. (2022). Effect of pH on the solubility and precipitation of heavy metals in water treatment. *Chemosphere*, 287, 132474. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132474>
- Marco Brown, L., y Reyes Gil, E. (2003). Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura. *Inter ciencia*, 28(5), 252-259.

- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C. A., Jerez, C. M., Fischer, G., y Zurita, J. (2011). Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 180-191. <https://doi.org/10.17584/rcch.2008v2i2.1186>
- Monrroy. (2024). Niveles de Metales Pesados Cromo, arsénico, Plomo y Mercurio en Cefalotórax de *Cryphiops Caementarius* (Camarón) en los Ríos Ocoña, Majes y Tambo Arequipa 2016. Recuperado 22 de marzo de 2024, de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/74ac4c16-e3d0-4cc3-a05a-658febf274d0/content>
- Orjuela, L. C. (2006). DORIS SANABRIA SUAREZ BIOLOGA. 02, 7.
- Osorio, N. W. (2008.). pH DEL SUELO Y DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES. 1(4).
- Pabón Guerrero, S. E., Benítez Benítez, R., Sarria Villa, R. A., y Gallo Corredor, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre ciencia e ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Perdomo, R., Campos, C., y Miranda, J. (2020). Uso de la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) como medio filtrante en el tratamiento del agua del campo El Salto, Venezuela. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), Article 1. <https://doi.org/10.14482/inde.38.1.628.16>
- Pérez, R. (2021). El agua en la agricultura: Importancia y manejo [Text]. *iAgua; Agua*. <https://www.iagua.es/blogs/ricardo-perez/agua-agricultura-importancia-y-manejo>
- Pernalet, Z., Piña, F., Suárez, M., y Ferrer, A. (2008). Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco. p.9.

- Pernía, M., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez-Prado, N., Ramírez, L., Bravo, K., López, D., Muñoz, J., & Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 89-105. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.246>
- Puerta, C (2019). Determinación de la influencia de la descarga del río Mayo en la calidad de agua del río Huallaga, a través de los ICA - PE. Recuperado 14 de marzo de 2022, de <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3460/AMBIENT%20-%20Cesia%20Yovani%20Puerta%20L%C3%B3pez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Reyes, C., Vergara, I., Torres, E., Díaz, M., y González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2). <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>
- Rivera, B., y Moccetti, N. (2018). Concentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash—Perú. *Salud y Tecnología Veterinaria*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.20453/stv.v6i1.3376>
- Rodríguez, L. (2016). Desarrollo de biofiltros de residuos orgánicos para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes. p.69.
- Rojas, A., Martínez, J., & Gómez, R. (2021). Applications of biofilters in water quality improvement: A review. *Environmental Science and Technology*, 55(9), 6780-6795. <https://doi.org/10.1234/est.2021.55.9.6780>
- Rondón, Y., Castillo, A., y Miranda, J. (2021). Use of the coconut shell (*Cocos nucifera*) as a filtering medium in the water treatment of El Salto oilfield, Venezuela. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 125-147. <https://doi.org/10.14482/inde.38.1.628.16>

- Ruiz, C. (2014). La contaminación minera de los ríos Tinto y Odiel. Recuperado 14 de marzo de 2022, de <https://core.ac.uk/reader/60659490>
- Sánchez, A., Irigoin, C., Sánchez, A., y Irigoin, N. C. (2021). Contaminación agrícola acción por uso de aguas residuales. Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria, 5(13), 65-77. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.98>
- Santiago, Á. (2019). Análisis del bagazo de la caña de azúcar como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de lácteos lácteos Valenzuela divino niño de la provincia de Cotopaxi, cantón saquisilí. p.124.
- Sepúlveda, M., y Cárdenas, S. (2012). Efecto de la conductividad eléctrica y nivel del agua sobre la reproducción de la cucha xenocara (*Ancistrus triradiatus*, Eigenmann 1918) bajo condiciones experimentales. Revista Veterinaria y Zootecnia (On Line), 6(1), Article 1. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/vetzootec/article/view/4417>
- Smith, T. & Chen, L. (2023). Chemical interaction of heavy metals with organic adsorbents: The impact of pH. Environmental Science & Technology, 57(1), 832-840. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c04581>
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, A., y Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha, 31(1), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Sucto, E. H. A. (2016). Con mucho cariño a mis padres; Patricio y Santusa, a mi hermana Gladys, a mi musa inspiradora Sayda Lizbeth por su gran apoyo y amor incondicional y principalmente a Dios al cual le debo todo lo que tengo. 115.

T026_72975446_T.pdf. (s. f.). Recuperado 14 de marzo de 2022, de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1389/1/T026_72975446_T.pdf

Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., y Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>

Torres, L., Pérez, S., & Jiménez, F. (2022). Microbial bioremediation in biofilters: Mechanisms and effectiveness. *International Journal of Water Resources*, 39(2), 112-128. <https://doi.org/10.1234/ijwr.2022.39.2.112>

Vicente J. (2016). Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Enfoque UTE*, 7(3), 41-56. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.104> Fan, J., Jian, X., Shang, F., Zhang, W., Zhang, S. y Fu, H. (2020). Contaminación subestimada por metales pesados en el río Minjiang, sureste de China: evidencia del monitoreo espacial y estacional de sedimentos suspendidos. *The Science of the total environment*, 142586. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.142586>

Zhang, J., Li, X., Guo, L., Deng, Z., Wang, D. y Liu, L. (2021). Evaluación de la contaminación por metales pesados y las características de la calidad del agua en los tramos de control del embalse en el curso medio del río Han, China. *The Science of the Total Environment*, 799, 149472. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149472>

Zhou, Q., Yang, N., Li, Y., Ren, B., Ding, X., Bian, H. y Yao, X. (2020). Concentraciones totales y fuentes de contaminación por metales pesados en masas de agua de ríos y lagos a nivel mundial, de 1972 a 2017. *Ecología Global y Conservación*. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00925>.

CÓMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ferrua Quispe, V. K. (2026). *Eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de metales pesados del canal de riego del Fundo Pacán, Región Huánuco – Perú 2023* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

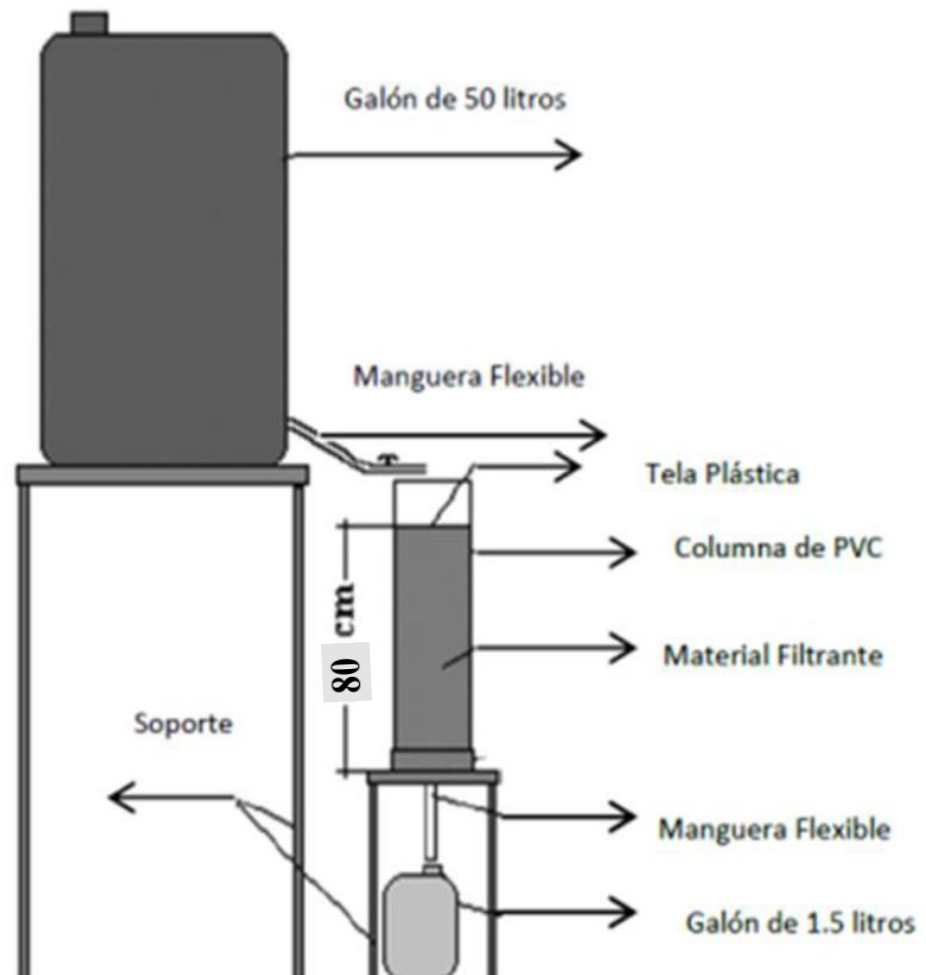
TÍTULO: Eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de metales pesados del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023.

TESISTA: Ferrua Quispe, Veronica Karina

Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Cuál es la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de metales pesados del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023?	Evaluar la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de metales pesados del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023	Los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera son eficientes en la remoción de metales pesados del canal de riego del fundo Pacán, región Huánuco – Perú 2023	- Variable independiente Los Biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera - Variable dependiente Parámetros físicos y parámetros químicos	Diseño: Experimental Puro Población: Las aguas del canal de riego del Fundo Pacán; 60,824 L/m aproximadamente. Muestra: 200 litros de agua proveniente del canal de riego del fundo Pacán,
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos		
¿Cuál es la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de Plomo, Cadmio, cobre y hierro del canal de riego del fundo Pacán? ¿Cuál es la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de Solidos totales en suspensión (STS), pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T°) del canal de riego del fundo Pacán? ¿Cuáles serán las características físicas y químicas de las aguas del canal de riego del fundo Pacán?	- Evaluar la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de metales pesados; Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cobre (Cu) y hierro (Fe) del canal de riego del fundo Pacán. - Evaluar la eficiencia de biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera en la remoción de Solidos totales en suspensión (STS), pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T°) del canal de riego del fundo Pacán. - Determinar las características físicas y químicas de las aguas del canal de riego del fundo Pacán.	- Los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera al menos alguno de ellos es eficiente en la remoción de metales pesados; Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Cobre (Cu) y hierro (Fe) del canal de riego del fundo Pacán. - Los biofiltros con bagazo de caña, cascarilla de coco y aserrín de madera al menos alguno de ellos no es eficiente en la remoción de Solidos totales en suspensión (STS), pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T°) del canal de riego del fundo Pacán.		

ANEXO 2

ESQUEMA DEL EQUIPO ELABORADO



Nota. El Anexo 2. El esquema del diseño físico del proyecto de investigación. Fuente: Modelo adaptado de Huamán (2018).

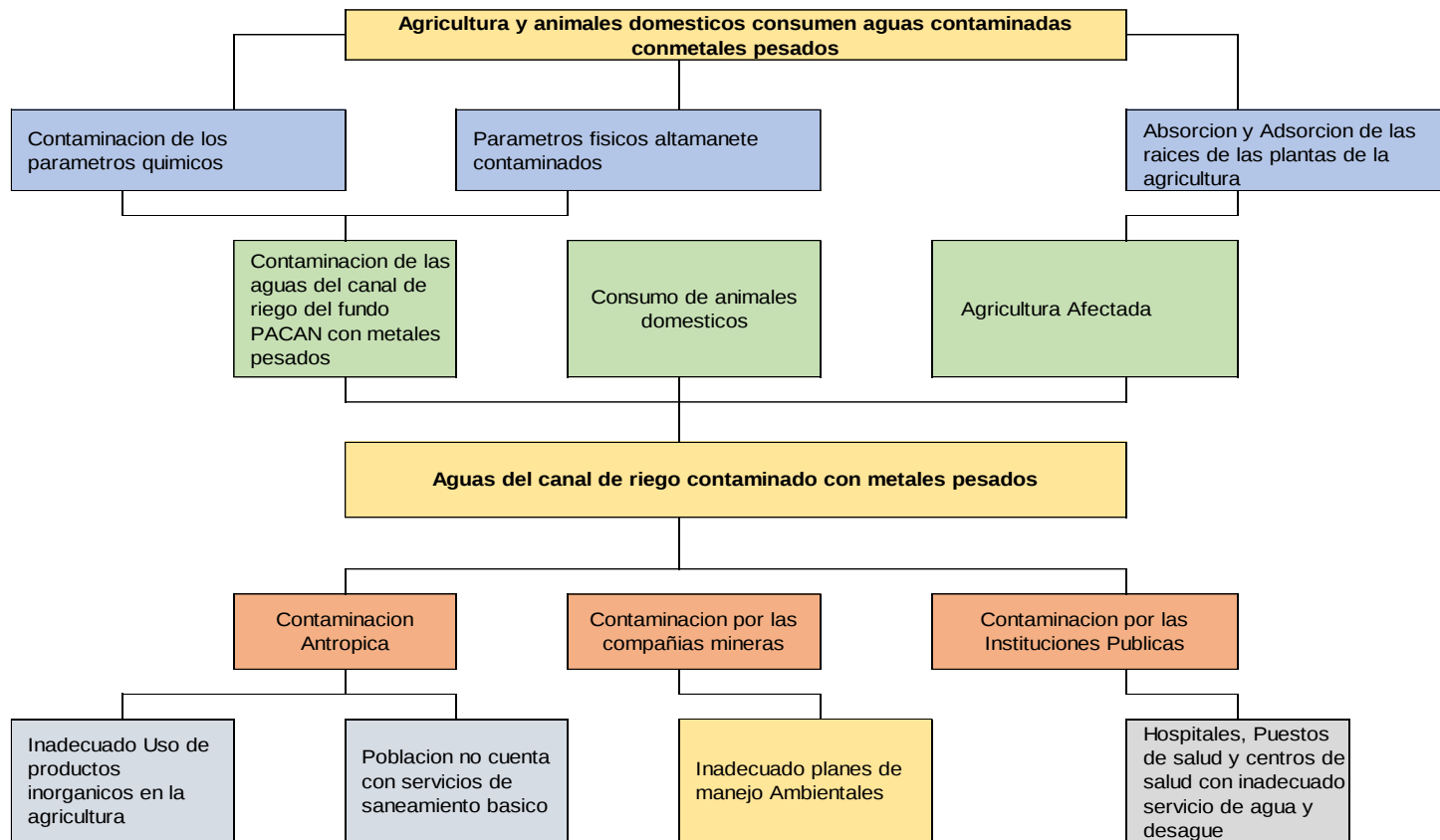
ANEXO 3

MAPA DE UBICACIÓN



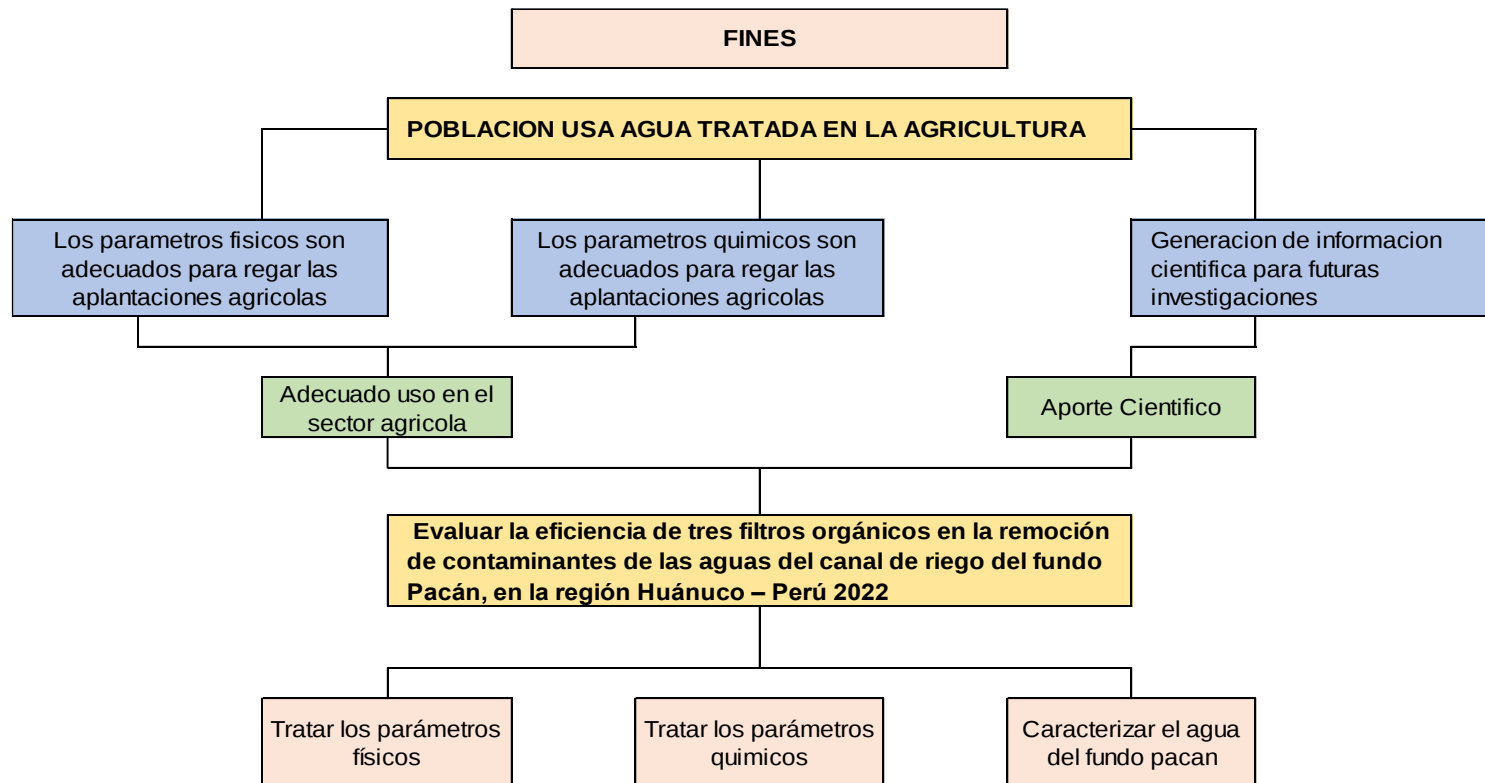
ANEXO 4

ÁRBOL DE CAUSA Y EFECTOS



ANEXO 5

ÁRBOL DE MEDIO Y FINES



ANEXO 6

FICHA DE EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Tratamientos		Temperatura	pH	Conductividad Eléctrica	Sólidos Totales	Pd	Cadmio	Hierro	Cobre
		°C		m/s	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Tratamiento I	Repetición 1								
	Repetición 2								
	Repetición 3								
Tratamiento II	Repetición 1								
	Repetición 2								
	Repetición 3								
Tratamiento III	Repetición 1								
	Repetición 2								
	Repetición 3								
Promedio I									
Promedio II									
Promedio III									

ANEXO 7

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tratamientos		Temperatura	pH	Conductividad Eléctrica	Solidos Totales	Pb	Cadmio	Hierro	Cobre
		°C		m/s	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Tratamiento I	Repetición 1	28,0	4,04	2,62	1140.0	0,20	0,002	0,9	0,060
	Repetición 2	28,1	4,05	2,61	1135.0	0,20	0,002	0,93	0,069
	Repetición 3	28,2	4,03	2,63	1145.0	0,20	0,002	0,87	0,051
Tratamiento II	Repetición 1	28,3	6,56	3,16	1600.0	0,40	0,002	1,50	0,120
	Repetición 2	28,4	6,59	3,22	1680.0	0,35	0,002	1,60	0,110
	Repetición 3	28,5	6,53	3,10	1520.0	0,45	0,002	1,40	0,130
Tratamiento III	Repetición 1	28,6	6,97	0,358	1720.0	0,30	0,002	0,90	0,040
	Repetición 2	28,7	7,19	0,36	186.00	0,28	0,002	0,95	0,035
	Repetición 3	28,8	6,75	0,356	172.00	0,32	0,002	0,85	0,045
Promedio I		28,1	4,04	2,62	1140	0,20	0,002	0,90	0,06
Promedio II		28,4	6,56	3,16	1600	0,40	0,002	1,50	0,12
Promedio III		28,7	6,97	0,356	179	0,30	0,002	0,90	0,04


 Dr. Ing. Carlos Esteban Huamani Chacón
 CAP 135635

ANEXO 8

RESULTADOS DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANALISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:			FERRUA QUISPE VERONICA KARINA							
PRECEDENCIA:			HUANUCO							
RECIBO N°:			34803							
MUESTRA:			AGUA							
FECHA DE REPORTE:			31/01/2024							
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO										
N°	DATOS		pH	CE	TEMPERATURA	ANALISIS QUIMICO				
						SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	PLOMO TOTAL	CADMIO TOTAL	HIERRO TOTAL	COBRE TOTAL
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	1:1	dS/m	T	STD	Pb	Cd	Fe	Cu
1	SO24-120-1	TESTIGO	7.250	0.253	28.0	124.0	< VLD	< VLD	0.30	< VLD
2	SO24-120-2	T1 R1 BAGAZO DE CAÑA	4.040	2.620	28.1	1140.0	0.200	< VLD	0.90	0.060
3	SO24-120-3	T1 R2 BAGAZO DE CAÑA	4.050	2.610	28.1	1135.0	0.200	< VLD	0.93	0.069
4	SO24-120-4	T1 R3 BAGAZO DE CAÑA	4.030	2.630	28.1	1145.0	0.200	< VLD	0.87	0.051
5	SO24-120-5	T2 R1 CASCARA DE COCO	6.560	3.160	28.2	1600.0	0.400	< VLD	1.50	0.120
6	SO24-120-6	T2 R2 CASCARA DE COCO	6.590	3.220	28.2	1680.0	0.350	< VLD	1.60	0.110
7	SO24-120-7	T2 R3 CASCARA DE COCO	6.530	3.100	28.2	1520.0	0.450	< VLD	1.40	0.130
8	SO24-120-8	T3 R1 ASERRIN DE MADERA	6.970	0.358	28.1	179.0	0.300	< VLD	0.90	0.040
9	SO24-120-9	T3 R2 ASERRIN DE MADERA	7.190	0.360	28.1	186.0	0.280	< VLD	0.95	0.035
10	SO24-120-10	T3 R3 ASERRIN DE MADERA	6.750	0.356	28.1	172.0	0.320	< VLD	0.85	0.045

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE. Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Ing° GILMER MILTON NEIRA TRUJILLO
Profesional del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944433333

ANEXO 9

PRUEBA DE NORMALIDAD

Pruebas de normalidad							
	Tratamientos	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
pH	Caña	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Coco	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Aserrín	,175	3	.	1,000	3	1,000
CE	Caña	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Coco	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Aserrín	,175	3	.	1,000	3	1,000
T°	Caña	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Coco	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Aserrín	,175	3	.	1,000	3	1,000
STD	Caña	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Coco	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Aserrín	,175	3	.	1,000	3	1,000
Plomo	Caña	.	3	.	.	3	.
	Coco	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Aserrín	,175	3	.	1,000	3	1,000
Cadmio	Caña	.	3	.	.	3	.
	Coco	.	3	.	.	3	.
	Aserrín	.	3	.	.	3	.
Hierro	Caña	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Coco	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Aserrín	,175	3	.	1,000	3	1,000
Cobre	Caña	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Coco	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Aserrín	,175	3	.	1,000	3	1,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 10

ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

C:\1. 2023 - Resumen\1. Solo Tesis - 2023\1. Proyectos Corregidos\4. Veronica\Datos corridos Veronica.IDB2 : 12/03/2024 - 16:03:05 -
[Versión : 30/04/2020]

Análisis de la varianza

Ph

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ph	9	0.99	0.99	2.19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15.10	2	7.55	458.61	<0.0001
Tratamientos	15.10	2	7.55	458.61	<0.0001
Error	0.10	6	0.02		
Total	15.20	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.32148

Error: 0.0165 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Bagazo de caña	4.04	3	0.07	A
Cascara de Coco	6.56	3	0.07	B
Aserrin de Madera	6.97	3	0.07	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

CE/d/Sm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
CE/d/Sm	9	1.00	1.00	1.72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13.26	2	6.63	5369.65	<0.0001
Tratamientos	13.26	2	6.63	5369.65	<0.0001
Error	0.01	6	1.2E-03		
Total	13.27	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.08803

Error: 0.0012 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Aserrin de Madera	0.36	3	0.02	A
Bagazo de caña	2.62	3	0.02	B
Cascara de Coco	3.16	3	0.02	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

T°/°C

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
T°/°C	9	sd	sd	0.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	2	0.00	sd	sd
Tratamientos	0.00	2	0.00	sd	sd
Error	0.00	6	0.00		

Total	0.00	8
-------	------	---

STD/ppm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
STD/ppm	9	1.00	0.99	4.77

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3154362.00	2	1577181.00	730.85	<0.0001
Tratamientos	3154362.00	2	1577181.00	730.85	<0.0001
Error	12948.00	6	2158.00		
Total	3167310.00	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=116.37891

Error: 2158.0000 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Aserrin de Madera	179.00	3	26.82	A
Bagazo de caña	1140.00	3	26.82	B
Cascara de Coco	1600.00	3	26.82	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Plomo/ppm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Plomo/ppm	9	0.91	0.88	10.36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.06	2	0.03	31.03	0.0007
Tratamientos	0.06	2	0.03	31.03	0.0007
Error	0.01	6	9.7E-04		
Total	0.07	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07789

Error: 0.0010 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Bagazo de caña	0.20	3	0.02	A
Aserrin de Madera	0.30	3	0.02	B
Cascara de Coco	0.40	3	0.02	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cadmio/ppm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cadmio/ppm	9	sd	sd	0.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	2	0.00	sd	sd
Tratamientos	0.00	2	0.00	sd	sd
Error	0.00	6	0.00		
Total	0.00	8			

Hierro/ppm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hierro/ppm	9	0.96	0.95	6.08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.72	2	0.36	80.60	<0.0001

Tratamientos	0.72	2	0.36	80.60	<0.0001
Error	0.03	6	4.5E-03		
Total	0.75	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.16743

Error: 0.0045 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Aserrin de Madera	0.90	3	0.04	A
Bagazo de caña	0.90	3	0.04	A
Cascara de Coco	1.50	3	0.04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Cobre/ppm

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Cobre/ppm	9	0.96	0.95	11.30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	2	0.01	75.73	0.0001
Tratamientos	0.01	2	0.01	75.73	0.0001
Error	4.1E-04	6	6.9E-05		
Total	0.01	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02076

Error: 0.0001 gl: 6

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Aserrin de Madera	0.04	3	4.8E-03	A
Bagazo de caña	0.06	3	4.8E-03	A
Cascara de Coco	0.12	3	4.8E-03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ANEXO 11

ANÁLISIS DE LA ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Descriptivos				
	Tratamientos		Estadístico	Error estándar
pH	Caña	Media	4,0400	,00577
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,0152
			Límite superior	4,0648
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	4,0400	
		Varianza	,000	
		Desviación estándar	,01000	
		Mínimo	4,03	
		Máximo	4,05	
		Rango	,02	
		Rango Inter cuartil	.	
		Asimetría	,000	1,225
		Curtosis	.	.
	Coco	Media	6,5600	,01732
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6,4855
			Límite superior	6,6345
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	6,5600	
		Varianza	,001	
		Desviación estándar	,03000	
		Mínimo	6,53	
		Máximo	6,59	
		Rango	,06	
		Rango Inter cuartil	.	
		Asimetría	,000	1,225
		Curtosis	.	.
	Aserrín	Media	6,9700	,12702
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6,4235
			Límite superior	7,5165
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	6,9700	
		Varianza	,048	
		Desviación estándar	,22000	
		Mínimo	6,75	
		Máximo	7,19	
		Rango	,44	

		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	,000	1,225
		Curtosis	.	.
CE	Caña	Media	2,6200	,00577
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,5952
			Límite superior	2,6448
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	2,6200	
		Varianza	,000	
		Desviación estándar	,01000	
		Mínimo	2,61	
		Máximo	2,63	
		Rango	,02	
		Rango Inter cuartil	.	
		Asimetría	,000	1,225
		Curtosis	.	.
	Coco	Media	3,1600	,03464
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,0110
			Límite superior	3,3090
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	3,1600	
		Varianza	,004	
		Desviación estándar	,06000	
		Mínimo	3,10	
		Máximo	3,22	
		Rango	,12	
		Rango Inter cuartil	.	
		Asimetría	,000	1,225
		Curtosis	.	.
	Aserrín	Media	,3580	,00115
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,3530
			Límite superior	,3630
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	,3580	
		Varianza	,000	
		Desviación estándar	,00200	
		Mínimo	,36	
		Máximo	,36	
		Rango	,00	
		Rango Inter cuartil	.	
		Asimetría	,000	1,225

T°	Caña	Curtosis		.	.
		Media		28,1000	,05774
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	27,8516	
			Límite superior	28,3484	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		28,1000	
		Varianza		,010	
		Desviación estándar		,10000	
		Mínimo		28,00	
		Máximo		28,20	
		Rango		,20	
		Rango Inter cuartil		.	
		Asimetría		,000	1,225
		Curtosis		.	.
	Coco	Media		28,4000	,05774
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	28,1516	
			Límite superior	28,6484	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		28,4000	
		Varianza		,010	
		Desviación estándar		,10000	
		Mínimo		28,30	
		Máximo		28,50	
		Rango		,20	
		Rango Inter cuartil		.	
		Asimetría		,000	1,225
		Curtosis		.	.
	Aserrín	Media		28,7000	,05774
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	28,4516	
			Límite superior	28,9484	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		28,7000	
		Varianza		,010	
		Desviación estándar		,10000	
		Mínimo		28,60	
		Máximo		28,80	
		Rango		,20	
		Rango Inter cuartil		.	
		Asimetría		,000	1,225
		Curtosis		.	.
STD	Caña	Media		11400,0000	28,86751

		95% de intervalo de	Límite inferior	11275,7931	
		confianza para la media	Límite superior	11524,2069	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		11400,0000	
		Varianza		2500,000	
		Desviación estándar		50,00000	
		Mínimo		11350,00	
		Máximo		11450,00	
		Rango		100,00	
		Rango Inter cuartil		.	
		Asimetría		,000	1,225
		Curtosis		.	.
Coco		Media		16000,0000	461,88022
		95% de intervalo de	Límite inferior	14012,6898	
		confianza para la media	Límite superior	17987,3102	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		16000,0000	
		Varianza		640000,000	
		Desviación estándar		800,00000	
		Mínimo		15200,00	
		Máximo		16800,00	
		Rango		1600,00	
		Rango Inter cuartil		.	
		Asimetría		,000	1,225
		Curtosis		.	.
Aserrín		Media		1790,0000	40,41452
		95% de intervalo de	Límite inferior	1616,1104	
		confianza para la media	Límite superior	1963,8896	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		1790,0000	
		Varianza		4900,000	
		Desviación estándar		70,00000	
		Mínimo		1720,00	
		Máximo		1860,00	
		Rango		140,00	
		Rango Inter cuartil		.	
		Asimetría		,000	1,225
		Curtosis		.	.
Plomo	Caña	Media		,2000	,00000
		95% de intervalo de	Límite inferior	,2000	
		confianza para la media	Límite superior	,2000	

		Media recortada al 5%	,2000	
		Mediana	,2000	
		Varianza	,000	
		Desviación estándar	,00000	
		Mínimo	,20	
		Máximo	,20	
		Rango	,00	
		Rango Inter cuartil	,00	
		Asimetría	.	.
		Curtosis	.	.
Coco	Media		,4000	,02887
	95% de intervalo de	Límite inferior	,2758	
	confianza para la media	Límite superior	,5242	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		,4000	
	Varianza		,003	
	Desviación estándar		,05000	
	Mínimo		,35	
	Máximo		,45	
	Rango		,10	
	Rango Inter cuartil		.	
	Asimetría		,000	1,225
	Curtosis		.	.
Aserrín	Media		,3000	,01155
	95% de intervalo de	Límite inferior	,2503	
	confianza para la media	Límite superior	,3497	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		,3000	
	Varianza		,000	
	Desviación estándar		,02000	
	Mínimo		,28	
	Máximo		,32	
	Rango		,04	
	Rango Inter cuartil		.	
	Asimetría		,000	1,225
	Curtosis		.	.
Cadmio	Caña	Media	,0020	,00000
		95% de intervalo de	Límite inferior	,0020
		confianza para la media	Límite superior	,0020
		Media recortada al 5%	,0020	
		Mediana	,0020	

		Varianza		,000	
		Desviación estándar		,00000	
		Mínimo		,00	
		Máximo		,00	
		Rango		,00	
		Rango Inter cuartil		,00	
		Asimetría		.	.
		Curtosis		.	.
	Coco	Media		,0020	,00000
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,0020	
			Límite superior	,0020	
		Media recortada al 5%		,0020	
		Mediana		,0020	
		Varianza		,000	
		Desviación estándar		,00000	
		Mínimo		,00	
		Máximo		,00	
		Rango		,00	
		Rango Inter cuartil		,00	
		Asimetría		.	.
		Curtosis		.	.
	Aserrín	Media		,0020	,00000
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,0020	
			Límite superior	,0020	
		Media recortada al 5%		,0020	
		Mediana		,0020	
		Varianza		,000	
		Desviación estándar		,00000	
		Mínimo		,00	
		Máximo		,00	
		Rango		,00	
		Rango Inter cuartil		,00	
		Asimetría		.	.
		Curtosis		.	.
Hierro	Caña	Media		,9000	,01732
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,8255	
			Límite superior	,9745	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		,9000	
		Varianza		,001	
		Desviación estándar		,03000	

		Mínimo		,87	
		Máximo		,93	
		Rango		,06	
		Rango Inter cuartil		.	
		Asimetría		,000	1,225
		Curtosis		.	.
	Coco	Media		1,5000	,05774
		95% de intervalo de	Límite inferior	1,2516	
		confianza para la media	Límite superior	1,7484	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		1,5000	
		Varianza		,010	
		Desviación estándar		,10000	
		Mínimo		1,40	
		Máximo		1,60	
		Rango		,20	
		Rango Inter cuartil		.	
		Asimetría		,000	1,225
		Curtosis		.	.
	Aserrín	Media		,9000	,02887
		95% de intervalo de	Límite inferior	,7758	
		confianza para la media	Límite superior	1,0242	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		,9000	
		Varianza		,002	
		Desviación estándar		,05000	
		Mínimo		,85	
		Máximo		,95	
		Rango		,10	
		Rango Inter cuartil		.	
		Asimetría		,000	1,225
		Curtosis		.	.
	Cobre Caña	Media		,0600	,00520
		95% de intervalo de	Límite inferior	,0376	
		confianza para la media	Límite superior	,0824	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		,0600	
		Varianza		,000	
		Desviación estándar		,00900	
		Mínimo		,05	
		Máximo		,07	

Coco	Rango		,02	
	Rango Inter cuartil		.	
	Asimetría		,000	1,225
	Curtosis		.	.
	Media		,1200	,00577
	95% de intervalo de	Límite inferior	,0952	
	confianza para la media	Límite superior	,1448	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		,1200	
	Varianza		,000	
	Desviación estándar		,01000	
	Mínimo		,11	
	Máximo		,13	
	Rango		,02	
	Rango Inter cuartil		.	
	Asimetría		,000	1,225
	Curtosis		.	.
	Media		,0400	,00289
	95% de intervalo de	Límite inferior	,0276	
	confianza para la media	Límite superior	,0524	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		,0400	
	Varianza		,000	
	Desviación estándar		,00500	
	Mínimo		,04	
	Máximo		,05	
	Rango		,01	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,000	1,225
	Curtosis		.	.

ANEXO 12

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1

Construcción de los biofiltros y delimitación del área experimental



Fotografía 2

Preparación física de los residuos orgánicos para ser triturados en el molino



Fotografía 3

Preparación de los materiales orgánicos para los biofiltros



Fotografía 4

Recolección de las muestras de los puntos 01 y 02



Fotografía 5

Traslado de las muestras para ser tratadas



Fotografía 6

Llenado del material orgánico al biofiltro



Fotografía 7

Llenado del efluente para análisis en laboratorio

